المملكة العربيّة السعوديّة　　وزارة المعارف

الإدارة العامة للتعليم الفني

# الحساب الفني للكهرباء

## للمدارس المهنيّة الثانويّة



الصف الأول
والثاني والثالث

قررت وزارة المعارف تدريس هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

المملكة العربيّة السعُودية — وزارة المعـارف
الإدارة العـامة للتعـليم الفـني

# الحساب الفني للكهرباء

شرح — وتحليل — وتمرينات

للمدارس المهنيَّـة الثانويَّـة

الصّف الأول والثاني والثالث

تأليف
هيرمان كراتو وچان رولف ريرينك

طبع على نفقة وزارة المعارف - يوزّع مجّانًا ولا يباع

# الحساب الفني للكهرباء

الحمد لله الذى تتم بنعمه

الصالحات تم نسخ الكتاب اسكنر

نسألكم الدعاء لى ولوالدى بظهر

بظهر الغيب

اخوكم في الله أبو عبد الله

عبد المهيمن فوزي

1st Arabic Edition 1979
ISBN 3-88301-006-5

© For the Kingdom of Saudi Arabia as well as for the other countries of the Arabian Peninsula exclusively by:

The Ministry of Education of the Kingdom of Saudi Arabia

© For all other countries jointly by:
- The Ministry of Education of the Kingdom of Saudi Arabia
- Ernst Klett Verlag, Stuttgart / Federal Republic of Germany
- Interpart, Stuttgart / Federal Republic of Germany

All rights reserved. No portion of the book may be reproduced in any form without written permission of the copyright holders.

Title of the original German edition:
«Fachrechnen für Elektroberufe»

10th edition

Copyright 1971: Ernst Klett Verlag, Stuttgart / Federal Republic of Germany

Translation and Production:
Interpart, Stuttgart / Federal Republic of Germany

By order of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH — German Agency for Technical Cooperation, Ltd. (GTZ) — within the scope of the technical co-operation between the Kingdom of Saudi Arabia and the Federal Republic of Germany.

Typeset and printed in the Federal Republic of Germany

الطبعة الأولى باللغة العربية ١٩٧٩
ISBN 3-88301-006-5

© حقوق الطبع باللغة العربية في المملكة العربية السعودية وفي جميع دول الجزيرة العربية محفوظة لوزارة المعارف السعودية

© حقوق الطبع باللغة العربية في جميع دول العالم الأخرى محفوظة لكل من :
- وزارة المعارف بالمملكة العربية السعودية
- دار النشر «إرنست كليت»
شتوتغارت - جمهورية ألمانيا الاتحادية
- إنترپارت
شتوتغارت - جمهورية ألمانيا الاتحادية

لا يجوز إنتاج أي جزء من هذا الكتاب، على أي شكل من الأشكال دون الحصول على تصريح كتابي من أصحاب حقوق الطبع .

عنوان الطبعة الأصلية باللغة الألمانية :
«Fachrechnen für Elektroberufe»
الطبعة العاشرة

حقوق الطبع لعام ١٩٧١ : محفوظة لدار النشر «إرنست كليت» شتوتغارت

قام بالترجمة والإنتاج
إنترپارت - شتوتغارت - جمهورية ألمانيا الاتحادية
بتكليف من الهيئة الألمانية للتعاون الفني - هيئة ذات مسئولية محدودة
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
في إطار التعاون الفني بين المملكة العربية السعودية وجمهورية ألمانيا الاتحادية .

تم التجميع والطبع في جمهورية ألمانيا الاتحادية

# مقـدّمة

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

ٱقۡرَأۡ بِٱسۡمِ رَبِّكَ ٱلَّذِي خَلَقَ ﴿١﴾ خَلَقَ ٱلۡإِنسَٰنَ
مِنۡ عَلَقٍ ﴿٢﴾ ٱقۡرَأۡ وَرَبُّكَ ٱلۡأَكۡرَمُ ﴿٣﴾ ٱلَّذِي عَلَّمَ
بِٱلۡقَلَمِ ﴿٤﴾ عَلَّمَ ٱلۡإِنسَٰنَ مَا لَمۡ يَعۡلَمۡ ﴿٥﴾

صدق الله العظيم

أخي الطالب ،

انك يا أخي أهم ثروة يملكها الوطن الغالي ، فلا الثروة البترولية ولا الثروة المعدنية تضمن لنا التقدم والازدهار ، فكلها زائل طال الزمن أو قصر ، ولكن تمسكك يا أخي الطالب بعقيدتك الإسلامية ومبادئ دينك الحنيف وحضارتك العريقة وبالعلم النافع ، ومعرفتك بالتكنولوجيا الحديثة واستفادتك الكاملة من التقدم التقني ، هذه جميعها بعون الله وقوته تضمن لنا التقدم والازدهار والمنعة .

لهذا فإنه يسعدني أن أقدم لك هدية وزارة المعارف :

الحساب الفني للكهرباء

للمدارس المهنية الثانوية

والله من وراء القصد ... وهو ولي التوفيق ، ، ،

مدير عام التعليم الفني

الدكتور المهندس / محمد حامد المطبقاني

«بسم الله الرحمن الرحيم»

تقديم فني للكتاب

تحتل الطاقة الكهربائية اليوم مركزًا رئيسيا في حياتنا اليومية. فقد أصبحت من الضروريات الأساسية لحياتنا المنزلية، كما هي عماد سير دولاب العمل في المصانع والإدارات، وبواسطتها نخترق حجاب الظلام ليلًا بالأضواء في معظم الأماكن التي تدب فيها الحياة البشرية. إن الكهرباء اليوم لدعامة أساسية لا يمكن أن نتصور اضطراد حياتنا اليوم بدونها.

ويتوقف استخدام الطاقة الكهربائية على وجه العموم على عمليات حسابية مختلفة، مبنية على قواعد وأساليب علمية تبحث في مجالات الاستخدام المختلفة. فمنها حساب الجهد والتيار والمقاومة والقدرة والطاقة والكفاية وغيرها، حتى يمكن التحكم في الانتفاع بهذه الطاقة الكهربائية وتجنب حدوث الأعطال والأخطار، على أكمل وجه.

وللوصول إلى التحقيق الأمثل لأهداف استخدام الطاقة الكهربائية، رُتِّب تسلسل الموضوعات التي يبحثها الكتاب كي يقدمها للطالب والقارئ والفني واضحة مفسَّرة، مستهلًّا بمراجعة للمبادئ الأساسية العامة للحساب. ثم ينتقل إلى المرحلة البنائية الأولى في الحساب الفني للكهرباء، تليها المرحلة البنائية الثانية. وتضم هاتان المرحلتان القواعد والنظم الأساسية للحساب الفني للعوامل الفنية التي تشملها الكهرباء وطرق تطبيقها في الحياة العملية، مما يهدف إلى راحة الإنسان ورفاهيته، إلى جانب أمثلة لنواحي التطبيق المختلفة تتبعها مسائل وتمرينات لتضمن وتؤكد فهم واستيعاب هذه العوامل وطرق تطبيقها. ويختتم الكتاب مراحله بالمرحلة التخصصية، هذه التي تتركز في دراسة حسابية للأنماط والوسائل والأجهزة المختلفة التي يستفاد بواسطتها من الطاقة الكهربائية.

ونظرًا لأن هذا الكتاب يستند على أحدث المواصفات القياسية DIN، فقد اتفق على ترك الرموز غير المصنفة في النظام الدولي SI كما هي واردة بأصل الكتاب الألماني.

- يجب استخراج القيم الناقصة، مثل قيم المواد والقيم الدليلية من كتاب الجداول الفنية.

إن التطبيق العملي والحسابي للقواعد الفنية لشرط أساسي لإتقان العمل في أي مجال من مجالات الصناعة. لذا فإننا ننصح الطالب والقارئ بالتعمق في فهم محتويات هذا الكتاب والمران على حل المسائل والمشكلات الواردة فيه، مما يؤهله لأن يحتل مكانه ويقوم بدوره في دفع عجلة تقدُّم الأمة وتطورها قُدما.

ونتمنى النجاح للجميع. والله وليُّ التوفيق.

# محتويات الكتاب

الفهرس

## العمليات الحسابية الأساسية - تعاريفها وعلاماتها

| العملية الحسابية الأساسية | مثال | العلامة الحسابية ونطقها | اسم النتيجة | ملخص |
|---|---|---|---|---|
| ١ - الجمع (الإضافة) | 6+3=9 حدود | + زائد | حاصل الجمع | يعرف الحساب مع استخدام العلامات + و - بحساب الجمع والطرح |
| ٢ - الطرح | 6−3=3<br>6 تسمى المطروح منه<br>3 تسمى المطروح | − ناقص | باقي الطرح | |
| ٣ - الضرب | 6·3=18<br>3 و 6 يسميان عوامل | · في<br>× | حاصل الضرب | يعرف الحساب مع استخدام العلامات · و ÷ وكذلك شرطة الكسر بحساب الضرب (·) والقسمة (/ أو ÷) |
| ٤ - القسمة | 6÷3=2<br>6 تسمى المقسوم<br>3 تسمى المقسوم عليه | ÷ على | خارج القسمة | |

### علامات حسابية أخرى - طبقا للمواصفات (DIN 1302/68)

| = يساوي | ≈ يساوي تقريبا | ≠ لا يساوي | ≙ يناظر | (<) أكبر من* | (>) أصغر من* |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 = 3 | 3,1416 ≈ 3,14 | 3 ≠ 5 | 10 kg ≙ 1 cm | 3 > 2 | 2 < 3 |

## مسائل تحتوي على عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة

### مسائل بدون أقواس

أجر أولا حساب الضرب والقسمة ثم حساب الجمع والطرح.

مثال (١) : $3\cdot4+7-6=?$

الحل : $12+7-6=19-6=\underline{13}$

مثال (٢) : $18+12\div6+5\cdot18-12=?$

الحل : $18+2+90-12=110-12=\underline{98}$

مثال (٣) : $312-12\cdot4+16-4\div4=?$

الحل : $312-48+16-1=$

$312+16-48-1=328-49=\underline{279}$

**تجرى عمليات الضرب والقسمة قبل عمليات الجمع والطرح**

### مسائل بالأقواس

احسب أولا القيم داخل الأقواس، ثم أكمل الحساب بهذه النتائج الجزئية.

مثال (٤) : $3\cdot(4+7-6)=?$

الحل : $3\cdot(11-6)=3\cdot5=\underline{15}$

مثال (٥) : $(70+40)\div5-8=?$

الحل : $110\div5-8=22-8=\underline{14}$

مثال (٦) : $(312-12)\cdot4+(16-4)\div4=?$

الحل : $300\cdot4+12\div4=$

$1200+3=\underline{1203}$

**احسب أولا القيم داخل الأقواس**

## تقريب الأعداد العشرية طبقا للمواصفات (DIN 1333/72)

تعرف الخانة العشرية المحتوية على آخر رقم بعد التقريب، بخانة التقريب. ولتقريب عدد ما يضاف إليه نصف مرتبة العدد المذكور في خانة التقريب ثم تحذف الأرقام التي تلي خانة التقريب.

مثال :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| العدد المطلوب تقريبه | 3,141592... | 0,35 | 0,25 | 2,65436 | 2,654 | 2,17 | 2,12 |
| خانة التقريب | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| نصف مرتبة العدد لخانة التقريب | 0,005 | 0,05 | 0,05 | 0,005 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| حاصل الجمع | 3,146592... | 0,40 | 0,30 | 2,65936 | 2,704 | 2,22 | 2,17 |
| العدد المقرب | 3,14 | 0,4 | 0,3 | 2,65 | 2,7 | 2,2 | 2,1 |

* تستخدم علامتا أكبر من (<) وأصغر من (>) في هذا الكتاب للغات الأوروبية أما بالنسبة للغة العربية فيعكس وضعهما.

تمرينات :

اجمع :

١ — ١ $3570+95+19{,}35+0{,}515+0{,}032$

١ — ٢ $7500+75+17{,}25+0{,}785+0{,}023$

١ — ٣ $870{,}5+70{,}1+3{,}142+0{,}141+0{,}005$

١ — ٤ $840{,}5+60{,}1+1{,}414+0{,}314+0{,}004$

اطرح :

١ — ٥ $780{,}5-70{,}1-19{,}42-5{,}167-0{,}141$

١ — ٦ $640-60{,}1-12{,}45-3{,}245-0{,}314$

١ — ٧ $95-17{,}25-0{,}617-0{,}032-0{,}005$

١ — ٨ $75-19{,}36-0{,}275-0{,}075-0{,}004$

اجمع واطرح :

١ — ٩ $935+78-60{,}7-13{,}25+1{,}875$

١ — ١٠ $535+175-80{,}5-23{,}25+2{,}785$

١ — ١١ $732+19{,}35+0{,}834-60{,}1-0{,}314$

١ — ١٢ $624-23{,}73+0{,}758-70{,}4-0{,}231$

١ — ١٣ $375+42{,}5-30{,}1-140{,}25+0{,}375$

١ — ١٤ $435+90{,}5-37{,}2-190{,}75-3{,}185$

١ — ١٥ $18{,}005+1700{,}5+307{,}5-3{,}208$

١ — ١٦ $78{,}25-435{,}75-75{,}005+433{,}5$

اضرب :

أوجد ناتج عمليات الضرب الآتية ، ثم قربه الى رابع رقم بعد الفاصلة العشرية

١ — ١٧ $8450\cdot 3{,}14$ ١ — ٢١ $41{,}85\cdot 0{,}785$

١ — ١٨ $6230\cdot 3{,}14$ ١ — ٢٢ $78{,}94\cdot 0{,}785$

١ — ١٩ $375{,}5\cdot 0{,}523$ ١ — ٢٣ $0{,}236\cdot 0{,}53$

١ — ٢٠ $458{,}6\cdot 0{,}523$ ١ — ٢٤ $0{,}019\cdot 0{,}374$

اقسم :

قرب خارج قسمة الأعداد الآتية الى رابع رقم بعد الفاصلة العشرية

١ — ٢٥ $7325\div 2{,}5$ ١ — ٢٩ $8{,}912\div 0{,}785$

١ — ٢٦ $9230\div 2{,}5$ ١ — ٣٠ $7{,}321\div 0{,}785$

١ — ٢٧ $450{,}5\div 3{,}14$ ١ — ٣١ $0{,}516\div 2{,}34$

١ — ٢٨ $750{,}5\div 3{,}14$ ١ — ٣٢ $5{,}782\div 0{,}329$

**مسائل تحتوي على عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة :**

قرب ناتج العمليات الحسابية الآتية الى رابع رقم بعد الفاصلة العشرية :

١ — ٣٣ $532-32\cdot 16+24-4\div 4$

١ — ٣٤ $720-20\cdot 10+10-5\div 5$

١ — ٣٥ $7540+3250-40{,}75\cdot 3{,}14$

١ — ٣٦ $8475+4255-90{,}75\cdot 3{,}14$

١ — ٣٧ $40{,}35\cdot 0{,}785+905{,}7-40{,}75$

١ — ٣٨ $400{,}3\cdot 0{,}785+310{,}8-525{,}5$

١ — ٣٩ $310{,}875\div 3{,}14+901{,}25-340$

١ — ٤٠ $817{,}45\div 3{,}14+190{,}25-210$

**مسائل بالأقواس**

قرب ناتج العمليات الحسابية الآتية الى رابع رقم بعد الفاصلة العشرية :

١ — ٤١ $(532-32)\cdot 16+(24-4)\div 4$

١ — ٤٢ $(720-20)\cdot 10+(10-5)\div 5$

١ — ٤٣ $3210+350{,}5+(72{,}35+4{,}825)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٤ $4720+557{,}8+(68{,}75+5{,}785)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٥ $3210+(350{,}5+72{,}35+4{,}825)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٦ $4720+(557{,}8+68{,}75+5{,}785)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٧ $(3210+557{,}8+72{,}35+4{,}825)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٨ $(4720+557{,}8+68{,}75+5{,}785)\cdot 3{,}14$

١ — ٤٩/٥٠ يبين الجدول التالي القطع المنتجة في ورشة كبيرة في الربع الأول من العام . احسب :

أ ) مقدار الزيادة أو النقص في الانتاج من شهر الى آخر .

ب) الانتاج الكلي في الربع الأول من العام من حيث :

١ - عدد القطع

٢ - التكاليف علما بأن تكلفة القطعة 0,32 SR

(SR = ريال سعودي)

| رقم المسألة | يناير | فبراير | مارس |
|---|---|---|---|
| ١ - ٤٩ | 32 420 | 36 290 | 33 600 |
| ١ - ٥٠ | 23 630 | 24 785 | 22 875 |

١ - ٥١ قارن بين مشروعي الميزانية لسنتي ١٩٧٠ و١٩٧٣ لدولة ما ، علما بأن تعدادها في سنة ١٩٧٠ هو 59 مليون نسمة .

| المبلغ بالمليون ريال | الاعتمادات لسنة ١٩٧٠ | الاعتمادات لسنة ١٩٧٣ |
|---|---|---|
| الميزانية الكلية للدولة | 89 350 | 120 236 |
| ومنها : للشؤون الاجتماعية والعمل | 18 767 | 34 100 |
| لوزارة المواصلات | 10 163 | 9 900 |
| لوزارة الدفاع | 19 864 | 27 800 |

أ ) احسب فروق الاعتمادات

ب) ما مقدار المبالغ المتبقية في سنتي ١٩٧٠ و١٩٧٣ للمهام الأخرى؟

ج) احسب النصيب السنوي للفرد بالنسبة لعام ١٩٧٠ .

١ - ٥٢ تبين احصائيات الحوادث لعام ١٩٧٠ في دولة ما تعدادها 59 مليون نسمة ، أن عدد قتلى حوادث الطرق بلغ نحو 19000 قتيلا . بين كل كم نسمة في هذه الدولة يسقط :

أ ) قتيل واحد في العام الواحد .

ب) قتيل واحد على مدى سبعين عاما (مدى العمر) ؟

١ - ٥٣/٥٤ احسب من الجدول المبين للتكاليف الشهرية الكلية لسيارة ما يلي :

أ ) التكاليف بالقرش لكل كيلومتر تقطعه السيارة .

ب) التكاليف السنوية بالريال السعودي (SR)

ج) الزيادة أو النقص في التكاليف بالقرش لكل كيلومتر :

١ - منسوبة الى تكاليف القيادة لمسافة 20 000 كيلومتر في السنة .

٢ - منسوبة الى تكاليف القيادة لمسافة 30 000 كيلومتر في السنة .

| المسافة المقطوعة | التكاليف الشهرية الكلية (SR) | |
|---|---|---|
| سنويا (km) | ١ — ٥٣ | ١ — ٥٤ |
| 5 000 | 166 | 246 |
| 10 000 | 198 | 293 |
| 15 000 | 208 | 334 |
| 20 000 | 270 | 388 |
| 30 000 | 335 | 480 |
| 40 000 | 424 | 572 |
| 50 000 | 470 | 667 |

## أنواع الكسور

### الكسور الاعتيادية

إذا قُسِّم الشكل الكلي (الوحدة) إلى أربعة أجزاء متساوية، فإن كل جزء منها يسمى ربعا ويكتب: 1/4 أو $\frac{1}{4}$ أو 1÷4

$\frac{1}{4} = \frac{\text{البسط } 1}{\text{المقام } 4}$

يمثّل البسط 1 عدد الوحدات الكسرية ويمثل المقام 4 عدد أجزاء تقسيم الوحدة وهو يعطي للكسر اسمه.

### الكسور الحقيقية

$\frac{31}{33}$ $\frac{15}{17}$ $\frac{7}{9}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{4}$

البسط أقل من المقام

### الكسور المتشابهة

$\frac{5}{7}$ $\frac{4}{7}$ $\frac{3}{7}$ $\frac{2}{7}$ $\frac{1}{7}$

كل المقامات متساوية

### عدد صحيح وكسر

$\frac{5}{4} = 5 \div 4 = 1\frac{1}{4}$

$\frac{19}{10} = 19 \div 10 = 1\frac{9}{10}$ أو 1,9

عدد صحيح مع كسر

### الكسور غير الحقيقية

$\frac{33}{31}$ $\frac{15}{11}$ $\frac{19}{10}$ $\frac{7}{5}$ $\frac{5}{4}$

البسط أكبر من المقام

### الكسور غير المتشابهة

$\frac{9}{10}$ $\frac{7}{8}$ $\frac{5}{6}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{1}{4}$

المقامات مختلفة

### الكسور الظاهرية

$\frac{6}{6} = 1$

البسط = المقام

$\frac{4}{1} = 4;\ \frac{12}{1} = 12$

البسط مع مقام قدره واحد صحيح

## تحويل الكسور

### لتكبير الكسور يتبع الآتي:

الكسر المعطى هو $\frac{3}{8}$

المقام الجديد المطلوب هو 16 أي أن الكسر هو $\frac{?}{16}$

ولحل تتبع الخطوات التالية:

١) يقسم المقام الجديد على مقام الكسر المعطى أي: $16 \div 8 = 2$

٢) يضرب كل من البسط والمقام المعطيان في خارج القسمة الناتج من البند (١) أي: $\frac{3}{8} \cdot \frac{2}{2} = \frac{6}{16}$

### اختصار الكسور

إقسم البسط والمقام على نفس العدد بعد تحويل الأعداد العشرية إلى أعداد صحيحة.

$\frac{8}{12}$ تختصر بقسمة كل من البسط والمقام على 4

$\frac{8 \div 4}{12 \div 4} = \frac{2}{3}$ أو $\frac{\not{8}^{\,2}}{\not{12}_{\,3}} = \frac{2}{3}$

### تكبير صورة الكسور العشرية

إذا ظهر كسر عشري في المقام أو البسط لكسر ما تضرب الكمية في $\frac{10}{10}$ أو في $\frac{100}{100}$ أو ... إلخ. وذلك لتحويل الكسر العشري إلى عدد صحيح، ثم يختصر الكسر.

$\frac{6}{0{,}03} = \frac{6 \cdot 100}{0{,}03 \cdot 100} = \frac{\not{600}^{\,200}}{\not{3}_{\,1}} = 200$

### التحويل من كسر عشري إلى كسر اعتيادي

حوّل الكسر العشري إلى عدد صحيح بالضرب في $\frac{10}{10}$ أو في $\frac{100}{100}$ أو في $\frac{1000}{1000}$ أو ... إلخ

$0{,}025 \cdot \frac{1000}{1000} = \frac{25}{1000}$

### تحويل كسر اعتيادي إلى كسر عشري

١) إقسم البسط على المقام أو

$\frac{22}{7} = 22 \div 7 = 3{,}142857$ أو

٢) إضرب البسط في مقلوب العدد الوارد بالجدول ($\frac{1}{n}$)

$22 \cdot$ (مقلوب العدد $^1/_7$) $= 22 \cdot 0{,}1429 = 3{,}1438$

العدد = n    مقلوب العدد = $\frac{1}{n}$

| $\frac{1}{2} \cdots \frac{1}{10}$ | | $\frac{1}{11} \cdots \frac{1}{20}$ | | $\frac{1}{21} \cdots \frac{1}{30}$ | | $\frac{1}{31} \cdots \frac{1}{40}$ | | $\frac{1}{41} \cdots \frac{1}{50}$ | | $\frac{1}{51} \cdots \frac{1}{60}$ | | $\frac{1}{61} \cdots \frac{1}{70}$ | | $\frac{1}{71} \cdots \frac{1}{80}$ | | $\frac{1}{81} \cdots \frac{1}{90}$ | | $\frac{1}{91} \cdots \frac{1}{100}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | قيمة مقلوب العدد $\frac{1}{n}$ | n | قيمة مقلوب العدد $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ | n | $\frac{1}{n}$ |
| | | 11 | 0,0909 | 21 | 0,0476 | 31 | 0,0323 | 41 | 0,0244 | 51 | 0,0196 | 61 | 0,0164 | 71 | 0,0141 | 81 | 0,0123 | 91 | 0,0109 |
| 2 | 0,5000 | 12 | 0,0833 | 22 | 0,0455 | 32 | 0,0313 | 42 | 0,0238 | 52 | 0,0192 | 62 | 0,0161 | 72 | 0,0139 | 82 | 0,0122 | 92 | 0,0108 |
| 3 | 0,3333 | 13 | 0,0769 | 23 | 0,0435 | 33 | 0,0303 | 43 | 0,0233 | 53 | 0,0189 | 63 | 0,0159 | 73 | 0,0137 | 83 | 0,0120 | 93 | 0,0107 |
| 4 | 0,2500 | 14 | 0,0714 | 24 | 0,0417 | 34 | 0,0294 | 44 | 0,0227 | 54 | 0,0185 | 64 | 0,0156 | 74 | 0,0135 | 84 | 0,0119 | 94 | 0,0106 |
| 5 | 0,2000 | 15 | 0,0667 | 25 | 0,0400 | 35 | 0,0286 | 45 | 0,0222 | 55 | 0,0181 | 65 | 0,0154 | 75 | 0,0133 | 85 | 0,0118 | 95 | 0,0105 |
| 6 | 0,1667 | 16 | 0,0625 | 26 | 0,0385 | 36 | 0,0278 | 46 | 0,0217 | 56 | 0,0179 | 66 | 0,0152 | 76 | 0,0132 | 86 | 0,0116 | 96 | 0,0104 |
| 7 | 0,1429 | 17 | 0,0588 | 27 | 0,0370 | 37 | 0,0270 | 47 | 0,0213 | 57 | 0,0175 | 67 | 0,0149 | 77 | 0,0130 | 87 | 0,0115 | 97 | 0,0103 |
| 8 | 0,1250 | 18 | 0,0556 | 28 | 0,0357 | 38 | 0,0263 | 48 | 0,0208 | 58 | 0,0172 | 68 | 0,0147 | 78 | 0,0128 | 88 | 0,0114 | 98 | 0,0102 |
| 9 | 0,1111 | 19 | 0,0526 | 29 | 0,0345 | 39 | 0,0256 | 49 | 0,0204 | 59 | 0,0169 | 69 | 0,0145 | 79 | 0,0127 | 89 | 0,0112 | 99 | 0,0101 |
| 10 | 0,1000 | 20 | 0,0500 | 30 | 0,0333 | 40 | 0,0250 | 50 | 0,0200 | 60 | 0,0167 | 70 | 0,0143 | 80 | 0,0125 | 90 | 0,0111 | 100 | 0,0100 |

## تمرينات

حوّل الى كسور غير حقيقية :

٢–١ $3\frac{1}{2};\ 4\frac{2}{3};\ 5\frac{3}{4}$

٢–٢ $2\frac{3}{5};\ 2\frac{5}{6};\ 4\frac{3}{7}$

٢–٣ $7\frac{3}{5};\ 9\frac{5}{6};\ 8\frac{3}{10}$

٢–٤ $5\frac{5}{8};\ 6\frac{3}{4};\ 9\frac{3}{7}$

٢–٥ $15\frac{3}{8};\ 13\frac{2}{9};\ 16\frac{1}{12}$

٢–٦ $26\frac{2}{7};\ 70\frac{2}{3};\ 19\frac{5}{13}$

٢–٧ $22\frac{5}{9};\ 18\frac{7}{8};\ 42\frac{1}{3}$

٢–٨ $43\frac{4}{5};\ 59\frac{1}{4};\ 21\frac{2}{9}$

٢–٩ $48\frac{19}{21};\ 37\frac{1}{17};\ 54\frac{13}{19}$

٢–١٠ $81\frac{23}{24};\ 98\frac{9}{11};\ 75\frac{12}{13}$

حوّل كلًّا من الكسور الآتية إلى عدد صحيح أو عدد صحيح وكسر :

٢–١١ $\frac{6}{2};\ \frac{23}{3};\ \frac{15}{4}$

٢–١٢ $\frac{17}{5};\ \frac{32}{6};\ \frac{35}{4}$

٢–١٣ $\frac{12}{5};\ \frac{36}{7};\ \frac{65}{8}$

٢–١٤ $\frac{11}{4};\ \frac{19}{5};\ \frac{26}{7}$

٢–١٥ $\frac{125}{12};\ \frac{172}{13};\ \frac{150}{17}$

٢–١٦ $\frac{38}{5};\ \frac{56}{13};\ \frac{142}{11}$

٢–١٧ $\frac{143}{19};\ \frac{169}{13};\ \frac{194}{18}$

٢–١٨ $\frac{212}{12};\ \frac{119}{8};\ \frac{224}{7}$

٢–١٩ $\frac{245}{82};\ \frac{321}{107};\ \frac{361}{120}$

٢–٢٠ $\frac{415}{83};\ \frac{374}{125};\ \frac{299}{37}$

أكمل الكسور الآتية :

٢–٢١ $\frac{5}{6}=\frac{?}{48};\ \frac{7}{12}=\frac{?}{72}$

٢–٢٢ $\frac{3}{5}=\frac{?}{20};\ \frac{4}{7}=\frac{?}{35}$

٢–٢٣ $\frac{11}{13}=\frac{?}{91};\ \frac{15}{16}=\frac{?}{48}$

٢–٢٤ $\frac{9}{11}=\frac{?}{44};\ \frac{5}{12}=\frac{?}{108}$

٢–٢٥ $\frac{3}{5}=\frac{15}{?};\ \frac{1}{40}=\frac{30}{?}$

٢–٢٦ $\frac{7}{8}=\frac{84}{?};\ \frac{5}{6}=\frac{35}{?}$

٢–٢٧ $\frac{7}{9}=\frac{147}{?};\ \frac{13}{14}=\frac{286}{?}$

٢–٢٨ $\frac{5}{7}=\frac{45}{?};\ \frac{11}{12}=\frac{143}{?}$

٢–٢٩ $\frac{9}{11}=\frac{81}{?};\ \frac{16}{7}=\frac{128}{?}$

٢–٣٠ $\frac{6}{19}=\frac{54}{?};\ \frac{17}{23}=\frac{204}{?}$

اختصر الكسور الآتية إذا أمكن :

٢–٣١ $\frac{6}{12};\ \frac{5}{15};\ \frac{4}{16}$

٢–٣٢ $\frac{6}{8};\ \frac{8}{12};\ \frac{9}{12}$

٢–٣٣ $\frac{12}{18};\ \frac{24}{30};\ \frac{48}{60}$

٢–٣٤ $\frac{12}{15};\ \frac{18}{24};\ \frac{40}{60}$

٢–٣٥ $\frac{68}{72};\ \frac{51}{93};\ \frac{53}{91}$

٢–٣٦ $\frac{22}{32};\ \frac{56}{84};\ \frac{91}{107}$

٢–٣٧ $\frac{156}{169};\ \frac{54}{153};\ \frac{222}{156}$

٢–٣٨ $\frac{63}{119};\ \frac{115}{253};\ \frac{453}{372}$

٢–٣٩ $\frac{105}{145};\ \frac{117}{243};\ \frac{209}{361}$

٢–٤٠ $\frac{96}{156};\ \frac{154}{294};\ \frac{561}{333}$

٢–٤١ $\frac{273}{143};\ \frac{354}{212};\ \frac{506}{108}$

٢–٤٢ $\frac{692}{71};\ \frac{581}{83};\ \frac{439}{112}$

حوّل الكسور العشرية الى أعداد صحيحة واختصر إذا أمكن، وضع كلًّا من الكسور غير الحقيقية في صورة عدد صحيح أو عدد صحيح وكسر :

٢–٤٣ $\frac{0,2}{4};\ \frac{0,02}{5};\ \frac{0,55}{11}$

٢–٤٤ $\frac{0,4}{5};\ \frac{0,04}{4};\ \frac{0,7}{14}$

٢–٤٥ $\frac{0,6}{12};\ \frac{2,5}{5};\ \frac{10,25}{25}$

١–٤٦ $\frac{0,44}{11};\ \frac{3,5}{5};\ \frac{10,50}{25}$

٢–٤٧ $\frac{4}{0,2};\ \frac{5}{0,02};\ \frac{11}{0,55}$

٢–٤٨ $\frac{5}{0,4};\ \frac{5}{0,04};\ \frac{14}{0,7}$

٢–٤٩ $\frac{12}{0,6};\ \frac{5}{2,5};\ \frac{20,5}{10,25}$

٢–٥٠ $\frac{11}{0,25};\ \frac{5,5}{3,5};\ \frac{50}{12,5}$

٢–٥١ $\frac{2,6}{3,9};\ \frac{18}{0,3};\ \frac{7,4}{12}$

٢–٥٢ $\frac{15}{0,6};\ \frac{34}{1,7};\ \frac{91}{5,6}$

٢–٥٣ $\frac{0,03}{99};\ \frac{0,21}{6,3};\ \frac{15,4}{0,14}$

٢–٥٤ $\frac{0,04}{84};\ \frac{0,24}{9,6};\ \frac{16,8}{0,24}$

٢–٥٥ $\frac{0,005}{0,45};\ \frac{0,021}{16,8};\ \frac{0,013}{1,82}$

٢–٥٦ $\frac{0,006}{0,54};\ \frac{0,023}{18,4};\ \frac{0,017}{2,89}$

حوّل الكسور العشرية الى كسور اعتيادية واختصر إذا أمكن، ثم ضع كلًّا من الكسور غير الحقيقية في صورة عدد صحيح وكسر :

٢–٥٧ 0,5; 0,8; 0,9

٢–٥٨ 0,4; 0,6; 0,7

٢–٥٩ 0,25; 0,75; 0,85

٢–٦٠ 0,25; 0,45; 0,55

٢–٦١ 0,115; 0,125; 0,375

٢–٦٢ 0,175; 0,215; 0,575

٢–٦٣ 1,125; 2,625; 4,125

٢–٦٤ 3,125; 2,375; 4,625

٢–٦٥ 3,715; 5,825; 9,075

٢–٦٦ 3,225; 7,475; 12,025

٢–٦٧ 3,084; 15,168; 22,328

٢–٦٨ 6,096; 17,232; 34,256

٢–٦٩ 0,104; 0,075; 7,008

٢–٧٠ 0,304; 0,048; 0,092

حوّل الكسور الاعتيادية الى كسور عشرية :

٢–٧١ $\frac{3}{4};\ \frac{4}{5};\ \frac{7}{8}$

٢–٧٢ $\frac{3}{5};\ \frac{5}{6};\ \frac{5}{8}$

٢–٧٣ $\frac{9}{13};\ \frac{7}{25};\ \frac{8}{35}$

٢–٧٤ $\frac{7}{13};\ \frac{9}{25};\ \frac{11}{35}$

٢–٧٥ $2\frac{1}{4};\ 4\frac{3}{7};\ 8\frac{2}{5}$

٢–٧٦ $3\frac{1}{5};\ 5\frac{3}{7};\ 7\frac{1}{8}$

٢–٧٧ $6\frac{2}{23};\ 8\frac{12}{25};\ 7\frac{13}{36}$

٢–٧٨ $8\frac{3}{23};\ 9\frac{13}{25};\ 10\frac{11}{36}$

٢–٧٩ $8\frac{9}{42};\ 7\frac{14}{56};\ 3\frac{21}{65}$

٢–٨٠ $6\frac{7}{46};\ 9\frac{24}{72};\ 5\frac{23}{82}$

٢–٨١ $\frac{49}{13};\ \frac{112}{81};\ \frac{54}{19}$

٢–٨٢ $\frac{84}{17};\ \frac{124}{51};\ \frac{37}{14}$

٢–٨٣ $\frac{112}{232};\ \frac{436}{528};\ \frac{67}{201}$

٢–٨٤ $\frac{116}{384};\ \frac{312}{556};\ \frac{43}{129}$

٢–٨٥ $\frac{7}{133};\ \frac{841}{79};\ 3\frac{4}{89}$

٢–٨٦ $\frac{9}{117};\ \frac{547}{51};\ 2\frac{1}{34}$

## جمع وطرح الكسور المتشابهة

**الحالة الأولى : إذا كانت الحدود كلها متشابهة**

١) تمد شرطة كسر مشتركة ، ويكتب المقام مرة واحدة فقط .

٢) تجمع أو تطرح البسوط ، بينما يظل المقام كما هو دون تغيير (مثالا ١ ، ٢) .

**الحالة الثانية : أحد الحدود على الأقل عدد صحيح أو عدد صحيح وكسر .**

١) يكتب الكسر المركب على شكل عدد صحيح مع كسر : $-4\frac{1}{2}=-4-\frac{1}{2}$؛ $+4\frac{1}{2}=+4+\frac{1}{2}$

٢) تحسب أولا الأعداد الصحيحة لتحصل على الناتج الجزئي ، ثم تحسب الكسور كمثالي (١) و (٢) . إذا تعذر إكمال الحساب ، يؤخذ واحد صحيح من الناتج الجزئي ، ثم يحوّل الواحد الصحيح إلى كسر ظاهري بالمقام المعطى .

٣) تجمع النتائج كما في البند (٢) .

مثال (١) : $\frac{4}{9}+\frac{5}{9}-\frac{2}{9}=?$

الحل : $\frac{4+5-2}{9}=\frac{9-2}{9}=\frac{7}{9}$

مثال (٢) : $\frac{11}{15}+\frac{7}{15}-\frac{8}{15}=?$

الحل : $\frac{11+7-8}{15}=\frac{10}{15}=\frac{2}{3}$

مثال (٣) : $3+4\frac{1}{5}+\frac{2}{5}-\frac{4}{5}=?$

الحل :

(١) $3+4+\frac{1}{5}+\frac{2}{5}-\frac{4}{5}=?$

(٢) $3+4=7=6+\frac{5}{5}$

$\frac{1}{5}+\frac{2}{5}-\frac{4}{5}+\frac{5}{5}=\frac{8-4}{5}=\frac{4}{5}$

(٣) $6+\frac{4}{5}=6\frac{4}{5}$

## جمع وطرح الكسور غير المتشابهة

يجب أولا تحويل الكسور غير المتشابهة إلى كسور متشابهة بمعنى إيجاد مقام مشترك لجميع الكسور . يعرف المقام المشترك باسم المضاعف المشترك الأصغر للمقامات الذي يقبل القسمة عليها جميعاً دون باقٍ . وغالباً ما يسهل الحصول على الحل بسرعة بتحويل الكسور إلى أعداد عشرية . ويمكن الاستفادة بجدول تحويل الكسور إلى أعداد عشرية من $\frac{1}{2}$ إلى $\frac{1}{100}$ (صفحة ٦) .

**يمكن إيجاد المقام المشترك تحريريًا .**

مثال (٤) : $\frac{3}{5}+\frac{7}{12}+\frac{8}{15}+\frac{5}{24}=?$

الحل :

١) إقسم جميع المقامات على 2 و 3 و 4 و 5 وهكذا .

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 15 | 24÷2 | | 5 | 3 | 15 | 3÷3 |
| 5 | 6 | 15 | 12÷2 | | 5 | 1 | 5 | 1÷5 |
| 5 | 3 | 15 | 6÷2 | | 1 | 1 | 1 | 1 |

٢) أوجد المقام المشترك بضرب جميع الأعداد المقسوم عليها في بند (١) . المقام المشترك $=120=2\cdot2\cdot2\cdot3\cdot5$

٣) تحقق – كتجربة – من أن المقام المشترك الناتج في البند رقم (٢) يقبل القسمة على جميع المقامات بدون باق :

$120\div5=24;\quad 120\div15=8;$

$120\div12=10;\quad 120\div24=5$

٤) حوّل جميع الكسور إلى كسور ذات مقام مشترك :

$\frac{3\cdot24}{5\cdot24}=\frac{72}{120};\quad \frac{8\cdot8}{15\cdot8}=\frac{64}{120};$

$\frac{7\cdot10}{12\cdot10}=\frac{70}{120};\quad \frac{5\cdot5}{24\cdot5}=\frac{25}{120}$

٥) إحسب بنفس طرق الحل في الأمثلة من (١) إلى (٣) :

$\frac{72}{120}+\frac{70}{120}+\frac{64}{120}+\frac{25}{120}=\frac{72+70+64+25}{120}$

$=\frac{231}{120}=1\frac{111}{120}=1\frac{37}{40}=1{,}925$

**حل المثال ٤ بتحويل الكسور الإعتيادية إلى كسور عشرية**

$\frac{3}{5}+\frac{7}{12}+\frac{8}{15}+\frac{5}{24}=?$

$\frac{3}{5}=3\cdot$ (قيمة مقلوب العدد 5 من الجدول)

$=3\cdot(0{,}2000)\qquad =0{,}6000$

$\frac{7}{12}=7\cdot$ (قيمة مقلوب العدد 12 من الجدول)

$=7\cdot(0{,}08333)\qquad =0{,}5831$

$\frac{8}{15}=8\cdot$ (قيمة مقلوب العدد 15 من الجدول)

$=8\cdot(0{,}0667)\qquad =0{,}5336$

$\frac{5}{24}=5\cdot$ (قيمة مقلوب العدد 24 من الجدول)

$=5\cdot(0{,}0417)\qquad =0{,}2085$

$=1{,}9252$

تمرينات :

اجمع واطرح

٣ – ١ $\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}$
٣ – ٢ $\frac{1}{3}+\frac{1}{4}-\frac{1}{6}$
٣ – ٣ $\frac{2}{3}+\frac{3}{4}-\frac{4}{5}$

٣ – ٤ $\frac{1}{2}+\frac{1}{4}-\frac{1}{7}$
٣ – ٥ $\frac{1}{4}+\frac{3}{5}-\frac{5}{6}$
٣ – ٦ $\frac{2}{5}+\frac{5}{6}-\frac{3}{8}$

٣ – ٧ $4+\frac{4}{5}-\frac{3}{20}$
٣ – ٨ $4+\frac{4}{9}-\frac{7}{12}$
٣ – ٩ $\frac{1}{4}-\frac{5}{6}+13$

٣ – ١٠ $6-\frac{11}{15}+\frac{3}{25}$
٣ – ١١ $3-\frac{1}{6}-\frac{1}{15}$
٣ – ١٢ $3-\frac{3}{5}-\frac{7}{12}$

٣ – ١٣ $3\frac{1}{3}+3-\frac{5}{6}$
٣ – ١٤ $3\frac{7}{15}-\frac{2}{5}-\frac{11}{12}$
٣ – ١٥ $4\frac{3}{5}-3\frac{1}{3}+2$

٣ – ١٦ $7\frac{2}{5}-4\frac{2}{3}+3$
٣ – ١٧ $8\frac{3}{11}-4\frac{5}{7}+5$
٣ – ١٨ $10\frac{5}{11}-5\frac{4}{7}+8$

٣ – ١٩ $7\frac{4}{9}-3\frac{1}{4}+3$
٣ – ٢٠ $15\frac{3}{5}-4\frac{1}{8}+7$
٣ – ٢١ $2\frac{2}{7}+9\frac{5}{6}+3\frac{1}{2}-2\frac{1}{3}$

٣ – ٢٢ $2\frac{5}{8}+7\frac{1}{2}-3\frac{17}{20}-4\frac{4}{5}$
٣ – ٢٣ $3\frac{37}{60}+5\ \frac{11}{15}-1\frac{13}{20}-2\frac{7}{10}$
٣ – ٢٤ $4\frac{5}{12}+5\frac{3}{5}-6\frac{17}{30}-1\frac{13}{15}$

٣ – ٢٥ $4{,}2+9\frac{3}{5}+6\frac{3}{4}-9{,}5$
٣ – ٢٦ $3{,}6+8\frac{2}{5}+7\frac{3}{7}+20{,}3$
٣ – ٢٧ $7{,}5+13\frac{3}{7}+9\frac{5}{6}-13{,}7$

٣ – ٢٨ $8{,}3-9\frac{2}{9}+2\frac{5}{13}-0{,}75$
٣ – ٢٩ $4{,}25+11\frac{4}{5}-16{,}3+4$
٣ – ٣٠ $12{,}15+3\frac{1}{8}-1{,}25+0{,}75$

مسائل على الأقواس (انظر اللوحة رقم ١)

٣ – ٣١ $6\frac{2}{3}-\left(4\frac{1}{8}+\frac{5}{6}-2\ \frac{1}{4}\right)+9\frac{4}{5}+3\frac{1}{3}$
٣ – ٣٢ $4\frac{1}{2}+3\frac{1}{6}-\left(7\frac{3}{8}+2\ \frac{4}{5}-5\frac{5}{12}\right)-1\frac{3}{16}$

٣ – ٣٣ $24\frac{1}{5}-\left(8\frac{1}{2}+3\frac{1}{4}-4\frac{1}{5}\right)+5\frac{1}{20}-2\frac{3}{4}$
٣ – ٣٤ $18\frac{1}{3}-\left(5\frac{1}{3}-2\frac{1}{15}+7\frac{1}{3}\right)+9\frac{7}{15}-2\frac{2}{3}$

٣ – ٣٥ $4{,}75+2\frac{3}{16}-\left(0{,}95\ +7{,}55-3\frac{7}{20}\right)+8\frac{1}{8}$
٣ – ٣٦ $18{,}6-9\frac{4}{15}-\left(2{,}75+3{,}45-1\frac{7}{20}\right)+2{,}25$

٣ – ٣٧ $29{,}5+17\frac{1}{4}-\left(8{,}4-2\frac{1}{9}-3{,}2\right)+16\frac{1}{2}$
٣ – ٣٨ $112{,}6-9{,}25-\left(34{,}2-4\frac{1}{2}-9\frac{3}{4}\right)-4\frac{3}{16}$

٣ – ٣٩ $25{,}85-7\frac{5}{12}-\left(6\frac{1}{3}+4{,}6-2\frac{4}{5}\right)+11\frac{1}{9}$
٣ – ٤٠ $37{,}65-12\frac{3}{16}-\left(8\frac{5}{12}+5{,}6-3\frac{3}{8}\right)+14{,}125$

٣ – ٤١ $64{,}25-\left(8\frac{1}{4}+3\frac{1}{8}\ \right)-\left(3{,}4-1\frac{1}{2}\right)+6{,}3$
٣ – ٤٢ $82{,}75-\left(4\frac{2}{9}+3\frac{5}{12}\right)-\left(5{,}4-2\frac{1}{5}\right)-1\frac{1}{15}$

ملاحظة :
بالنسبة للمسائل التالية تستخدم الأرقام الموجودة خارج الأقواس لحل مسألة والتي داخلها لحل مسألة أخرى.

٣ – ٤٣ / ٤٤ في سباق للسيارات مكون من 36 دورة خرج من السباق $\frac{1}{12}$ $\left(\frac{1}{8}\right)$ من المتسابقين بعد خمس دورات وخرج $\frac{1}{5}$ $\left(\frac{1}{6}\right)$ المتسابقين بعد 12 دورة وخرج $\frac{1}{3}$ $\left(\frac{1}{3}\right)$ المتسابقين بعد 20 دورة. فإذا علم أن عدد المتسابقين الذين أتموا السباق هو 23 (18) متسابق. فأحسب:

أ ) عدد المشتركين عند بدء السباق.

ب) عدد المتسابقين الذين خرجوا من السباق بعد 5 و12 و20 دورة.

٣ – ٤٥ / ٤٦ قامت مجموعة من الشباب بجولة لمسافة 120 km (150). إذا قطعوا في كل من اليومين الأول والثاني $\frac{1}{4}$ $\left(\frac{1}{5}\right)$ المسافة ثم قطعوا في اليوم الثالث $\frac{1}{5}$ $\left(\frac{1}{4}\right)$ المسافة ثم في اليوم الرابع $\frac{1}{6}$ $\left(\frac{1}{6}\right)$ المسافة وفي اليوم الخامس باقي المسافة. احسب المسافات المقطوعة في كل يوم بالكيلومتر (km).

٣ – ٤٧ / ٤٨ يبلغ مجموع أجور ملاحظ عمال وميكانيكي وعامل تحت التمرين 420 SR (455). فإذا علم أن ملاحظ العمال يحصل على $\frac{3}{7}$ المبلغ ويحصل الميكانيكي على $\frac{2}{5}$ المبلغ ويحصل العامل تحت التمرين على الباقي. أوجد:

أ ) نسبة الأجر الذي يحصل عليه العامل تحت التمرين.

ب) أجر كل منهم بالريال.

٣ – ٤٩ / ٥٠ يبلغ متوسط استهلاك سيارة 11,2l بنزين لكل 100 km. فإذا علم أنه في رحلة طولها 360 km (450) استهلكت السيارة $\frac{7}{8}$ $\left(\frac{8}{9}\right)$ من الاستهلاك المتوسط في مسافة 225 km (280) على الطريق السريع ثم $1\frac{1}{4}$ $\left(1\frac{1}{5}\right)$ من الاستهلاك المتوسط في مسافة 45 km (75) على طريق جبلي وقطعت باقي المسافة باستهلاك متوسط. احسب الاستهلاك الكلي للبنزين.

٣ – ٥١ / ٥٢ اكتسب أربعة أصدقاء A وB وC وD من عمل ما مبلغ 85 000 SR (102 000) فإذا كان نصيب A هو $\frac{1}{4}$ المبلغ وB هو $\frac{2}{5}$ المبلغ وC هو $\frac{1}{6}$ المبلغ وD الباقي. احسب نصيب كل منهم من الكسب.

٣ – ٥٣ / ٥٤ شحت النقود مع شابين أثناء قيامهما بجولة فتشاورا على صرف ربع ما معهم في اليوم الأول وثلث الباقي في اليوم الثاني ونصف الباقي في اليوم الثالث فوجدا أنه سيتبقى معهما في النهاية 4,50 SR (6,00). فما مقدار النقود التي كانت معهما؟

## ضرب الكسور

**إذا كانت كل العوامل كسورا :**

(١) تمد شرطة كسر مشتركة ثم يُختصر.

(٢) يضرب البسط في البسط ، والمقام في المقام.

مثال (١) : $\frac{8}{9}\cdot\frac{5}{6}\cdot\frac{11}{5}=?$

الحل : $\frac{8\cdot5\cdot11}{9\cdot6\cdot5}=\frac{44}{27}=1\frac{17}{27}$

**إذا كان أحد العوامل على الأقل عددا صحيحا :**

(١) يحوَّل العدد الصحيح إلى كسر ظاهري.

(٢) يكمل الحساب كما هو موضح في مثال (١).

مثال (٢) : $4\cdot\frac{3}{5}\cdot\frac{7}{8}=?$

الحل : $4=\frac{4}{1};\ \frac{4\cdot3\cdot7}{1\cdot5\cdot8}=\frac{21}{10}=2\frac{1}{10}=2{,}1$

**إذا كان أحد العوامل على الأقل كسرا مركبا (عدد صحيح وكسر) :**

(١) يحوَّل الكسر المركّب إلى كسر غير حقيقي.

(٢) يكمل الحساب كما في مثال (١).

مثال (٣) : $2\frac{2}{3}\cdot4\frac{1}{4}=?$

الحل : $2\frac{2}{3}=\frac{8}{3};\ 4\frac{1}{4}=\frac{17}{4};\ \frac{8\cdot17}{3\cdot4}=\frac{34}{3}=11\frac{1}{3}$

**إذا كان أحد العوامل على الأقل عددا عشريا :**

(١) يحوَّل الكسر العشري إلى كسر اعتيادي.

(٢) يكمل الحساب كما في مثال (١).

مثال (٤) : $6{,}25\cdot\frac{4}{5}=?$

الحل : $6{,}25=\frac{625}{100};\ \frac{625\cdot4}{100\cdot5}=\frac{500}{100}=5$

## قسمة الكسور

**إذا كان المقسوم والمقسوم عليه كسورا :**

(١) يقلب المقسوم عليه بحيث يصبح البسط مقاما والمقام بسطا وبذا نحصل على قيمة مقلوب الكسر.

(٢) يضرب المقسوم في القيمة المقلوبة كما في مثال (١).

مثال (٥) : $\frac{3}{4}\div\frac{5}{6}=?$

الحل : $\frac{3\cdot6}{4\cdot5}=\frac{9}{10}=0{,}9$ (حيث $\frac{6}{5}$ هو مقلوب $\frac{5}{6}$)

**إذا كان المقسوم أو المقسوم عليه كسرا مركبا :**

(١) يحوّل العدد الصحيح والكسر إلى كسر غير حقيقي.

(٢) يكمل الحساب كما في مثال (٥).

مثال (٧) : $3\frac{2}{5}\div\frac{4}{5}=?$

الحل : $3\frac{2}{5}=\frac{17}{5}$

$\frac{17\cdot5}{5\cdot4}=\frac{17}{4}=4\frac{1}{4}$ (حيث $\frac{5}{4}$ هو مقلوب $\frac{4}{5}$)

**إذا كان المقسوم أو المقسوم عليه عددا صحيحا :**

(١) يحوّل العدد الصحيح إلى كسر ظاهري.

(٢) يكمل الحساب كما في مثال (٥).

مثال (٦) : $5\div\frac{2}{7}=?$

الحل : $5=\frac{5}{1}$

$\frac{5\cdot7}{1\cdot2}=\frac{35}{2}=17\frac{1}{2}$ (حيث $\frac{7}{2}$ هو مقلوب $\frac{2}{7}$)

**إذا كان المقسوم أوالمقسوم عليه عددا صحيحا وكسراً عشرياً :**

(١) يحوَّل الكسر العشري إلى كسر إعتيادي.

(٢) يكمل الحساب كما في مثال (٥).

مثال (٨) : $1{,}25\div\frac{4}{5}=?$

الحل : $1{,}25=\frac{125}{100}$

$\frac{125\cdot5}{100\cdot4}=\frac{125}{80}=1\frac{45}{80}=1\frac{9}{16}$ (حيث $\frac{5}{4}$ هو مقلوب $\frac{4}{5}$)

## الحساب بكسور مزدوجة :

(١) تُستبدل شرطة الكسر الوسطى بعلامة القسمة (÷).

(٢) يكمل الحساب كما في الأمثلة من (٥) إلى (٨).

مثال (٩) : $\frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{6}}=?$

الحل :

$\frac{1}{4}\div\frac{1}{6}$ ($\frac{6}{1}$ هو مقلوب $\frac{1}{6}$)

$\frac{1\cdot6}{4\cdot1}=\frac{3}{2}=1\frac{1}{2}$

مثال (١٠) : $\frac{4}{\frac{1}{4}}=?\quad 4=\frac{4}{1}$

الحل :

$\frac{4}{1}\div\frac{1}{4}$ ($\frac{4}{1}$ هو مقلوب $\frac{1}{4}$)

$\frac{4\cdot4}{1\cdot1}=16$

مثال (١١) : $\frac{1\frac{1}{4}}{\frac{1}{4}}=?$

الحل : $1\frac{1}{4}=\frac{5}{4}$

$\frac{5}{4}\div\frac{1}{4}$ ($\frac{4}{1}$ هو مقلوب $\frac{1}{4}$)

$\frac{5\cdot4}{4\cdot1}=\frac{5}{1}=5$

مثال (١٢) : $\frac{6{,}25}{\frac{1}{4}}=?$

الحل : $6{,}25=\frac{625}{100}$

$\frac{625}{100}\div\frac{1}{4}$ ($\frac{4}{1}$ هو مقلوب $\frac{1}{4}$)

$\frac{625\cdot4}{100\cdot1}=\frac{2500}{100}=25$

## تمرينات

اضرب واقسم :

٤ – ١ $\frac{12}{7}\cdot\frac{21}{36}\cdot\frac{2}{5}$

٤ – ٢ $\frac{3}{10}\cdot\frac{5}{12}\cdot\frac{3}{8}$

٤ – ٣ $\frac{6}{7}\cdot\frac{5}{14}\cdot\frac{7}{12}$

٤ – ٤ $\frac{1}{3}\cdot\frac{6}{11}\cdot\frac{4}{5}$

٤ – ٥ $2\cdot\frac{4}{5}\cdot\frac{7}{8}$

٤ – ٦ $3\cdot\frac{5}{6}\cdot\frac{4}{9}$

٤ – ٧ $12\cdot\frac{4}{5}\cdot\frac{5}{7}$

٤ – ٨ $14\cdot\frac{5}{7}\cdot\frac{8}{15}$

٤ – ٩ $3\frac{1}{3}\cdot4\frac{1}{5}\cdot\frac{2}{5}$

٤ – ١٠ $5\frac{3}{5}\cdot4\frac{2}{7}\cdot3$

٤ – ١١ $6\frac{3}{4}\cdot9\frac{7}{9}\cdot8\frac{1}{4}$

٤ – ١٢ $9\frac{3}{7}\cdot4\frac{5}{11}\cdot2\frac{1}{3}$

٤ – ١٣ $4{,}8\cdot7\frac{1}{8}\cdot5\frac{2}{5}$

٤ – ١٤ $5{,}6\cdot4\frac{3}{8}\cdot5\frac{3}{5}$

٤ – ١٥ $2{,}55\cdot9{,}24\cdot14\frac{3}{5}$

٤ – ١٦ $3{,}33\cdot7{,}36\cdot8\frac{3}{4}$

٤ – ١٧ $\frac{4}{5}\div\frac{4}{7}$

٤ – ١٨ $\frac{6}{7}\div\frac{3}{8}$

٤ – ١٩ $\frac{25}{26}\div\frac{5}{13}$

٤ – ٢٠ $\frac{2}{3}\div\frac{5}{6}$

٤ – ٢١ $5\div\frac{2}{5}$

٤ – ٢٢ $\frac{2}{3}\div\frac{5}{7}$

٤ – ٢٣ $\frac{3}{7}\div6$

٤ – ٢٤ $\frac{6}{11}\div9$

٤ – ٢٥ $10\frac{5}{6}\div2\frac{3}{5}$

٤ – ٢٦ $5\frac{1}{6}\div2\frac{1}{2}$

٤ – ٢٧ $9\frac{3}{7}\div6$

٤ – ٢٨ $5\frac{5}{6}\div1\frac{2}{5}$

٤ – ٢٩ $28{,}8\div3\frac{1}{5}$

٤ – ٣٠ $14{,}28\div4\frac{1}{5}$

٤ – ٣١ $75{,}25\div10\frac{3}{4}$

٤ – ٣٢ $84\div5\frac{1}{4}$

### الحساب بكسور مزدوجة

ملاحظة : احسب كلا من البسط والمقام قبل الاختصار ثم احسب أولا قيم الأقواس . يسبق حساب الضرب والقسمة حساب الجمع والطرح (انظر الدرس الأول) .

٤ – ٣٣ $\frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{6}};\ \frac{\frac{3}{4}}{\frac{7}{8}};\ \frac{\frac{2}{3}}{\frac{5}{6}}$

٤ – ٣٤ $\frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{8}};\ \frac{\frac{5}{6}}{\frac{7}{12}};\ \frac{\frac{9}{11}}{\frac{3}{17}}$

٤ – ٣٥ $\frac{\frac{5}{5}}{9};\ \frac{\frac{5}{12}}{35};\ \frac{3\frac{1}{3}}{25}$

٤ – ٣٦ $\frac{7}{\frac{7}{9}};\ \frac{\frac{3}{7}}{36};\ \frac{4\frac{4}{7}}{16}$

٤ – ٣٧ $\frac{9\frac{1}{5}}{2\frac{2}{5}};\ \frac{15\frac{5}{7}}{18\frac{1}{3}}$

٤ – ٣٨ $\frac{8\frac{4}{5}}{2\frac{3}{4}};\ \frac{9\frac{7}{12}}{4\frac{2}{7}}$

٤ – ٣٩ $\frac{0{,}3+\frac{1}{4}\cdot0{,}4}{\frac{2}{5}}$

٤ – ٤٠ $\frac{2\cdot0{,}8+3\cdot\frac{2}{3}}{3\frac{1}{5}}$

٤ – ٤١ $\frac{3\left(3\frac{1}{3}-2{,}15\right)}{2{,}4+\frac{3}{4}}$

٤ – ٤٢ $\frac{5\left(7\frac{2}{5}-6{,}05\right)}{6+\frac{3}{4}}$

٤ – ٤٣ $\frac{3\frac{4}{5}\cdot2{,}75-2\frac{3}{4}\cdot3}{4\frac{1}{5}-3\frac{1}{10}}$

٤ – ٤٤ $\frac{\frac{1}{4}\cdot3{,}75+\frac{2}{5}\cdot2{,}5}{\frac{5}{7}-\frac{4}{21}}$

تمرينات :

٤ – ٤٥/٤٦ يحصل A وB و C من عمل مشترك بينهم على 260 SR (340) . فإذا كان نصيب A هو $\frac{2}{5}$ وB هو $\frac{1}{4}$ وC هو الباقي من المبلغ . احسب :

أ ) نصيب C .

ب) نصيب كل من A وB وC بالريال (SR) .

٤ – ٤٧/٤٨ ثمن زورق مطاطي هو 627 SR (948) . فإذا دفع A ثلث الثمن وB الربع وC الخمس ودفع D باقي المبلغ . أحسب :

أ ) المبلغ الذي يدفعه D .

ب) المبلغ الذي يدفعه كل منهم بالريال (SR) .

٤ – ٤٩/٥٠ لتعبئة 100 l من زيت التبريد في علب ، مُلئت أولا 15 (20) علبه سعة الواحدة 0,7 l وعبئ الباقي في علب سعة الواحدة $\frac{3}{4}$ l :

أ ) كم عدد العلب المستخدمة سعة $\frac{3}{4}$ l ؟

ب) كم لترا تبقى للعلبة الأخيرة؟

٤ – ٥١/٥٢ اشترى ثلاثة شبان خيمة بمبلغ 330 SR (360) . دفع A ثلث المبلغ وB ثلاثة أخماسه ودفع C باقي المبلغ . أوجد قيمة ما دفعه كل منهم بالريال .

٤ – ٥٣/٥٤ يبلغ ثمن مكنة تفريز 20 000 SR (24 000) تم دفع $\frac{1}{4}$ ثمن الشراء نقدا وكتب شيك بثلاثة أخماس الثمن وظل الباقي دينا على المشتري . احسب :

أ ) قيمة ما دفع نقدا .

ب) قيمة المبلغ المدفوع بشيك .

جـ) قيمة المبلغ الباقي .

٤ – ٥٥/٥٦ وزع إرث مقداره 1890 SR (2730) بحيث يحصل A على $\frac{1}{7}$ الإرث ، B على السدس ، C على الخمس ، D على الربع ، E على الباقي . احسب :

أ ) نسبة نصيب E .

ب) نصيب كل منهم من الميراث بالريال .

## التناسب البسيط

يعطى في كل مسألة في التناسب البسيط ثلاثة أعداد تحل بها المسألة على ثلاث خطوات ويعرف هذا في بعض الدول بالحساب بالقاعدة الثلاثية. وخطوات حل مسائل التناسب هي :

**الخطوة الأولى وهي الفرض :** وفيها تذكر معطيات المسألة (المعلوم).

**الخطوة الثانية أي الخطوة الوسطى :** وفيها تستنتج قيمة أو مقدار الوحدة بدلالة المعطيات في الخطوة الأولى.

**الخطوة الثالثة أي خطوة الحل :** وفيها تستنتج قيمة أو مقدار الكمية المطلوبة بدلالة الوحدة التي أصبحت معلومة من الخطوة السابقة.

ويميز في حساب التناسب بين **التناسب الطردي والتناسب العكسي.**

### التناسب الطردي

يزداد العددان المعطيان أو ينقصان معا باضطراد في علاقات التناسب الطردي.

| كلما زاد أحد العددين ، زاد الآخر<br>كلما نقص أحد العددين ، نقص الآخر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| زيادة | | | | | |
| كمية الفولاذ (kg) | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| ثمن الفولاذ (SR) | 76 | 152 | 228 | 304 | 380 |
| زيادة | | | | | |

**ملاحظة :** في التناسب الطردي تجرى عملية قسمة في الخطوة الوسطى (الثانية) وتجرى عملية ضرب في خطوة الحل (الثالثة).

مثال (١) : كم تكلف 40 kg من الفولاذ إذا كلفت 100 kg منه 76 SR؟

المطلوب : حساب ثمن 40 kg من الفولاذ بالريال.

الحل :

(١) الفرض : 100 kg تكلف 76 SR

(٢) الخطوة الوسطى : 1 kg يكلف $\frac{76}{100}$ SR

(٣) خطوة الحل : 40 kg تكلف $\frac{76 \cdot 40}{100}$ SR

$= 30,40$ SR

**تكلف 40 kg من الفولاذ 30,40 SR**

### التناسب العكسي

يزداد أحد العددين المعطيين في التناسب العكسي بينما ينقص العدد الآخر.

| كلما زاد أحد العددين ، نقص الآخر<br>كلما نقص أحد العددين ، زاد الآخر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| زيادة | | | | | |
| عدد العمال | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| الساعات اللازمة لإنجاز العمل | 120 | 60 | 40 | 30 | 24 |
| نقصان | | | | | |

**ملاحظة :** في التناسب العكسي تجرى عملية ضرب في الخطوة الوسطى (الثانية) وتجرى عملية قسمة في خطوة الحل (الثالثة).

مثال (٢) : ينهي عشرة عمال عملا ما في 12 ساعة.

ما هو الزمن اللازم لإنهاء هذا العمل بواسطة أربعة عمال؟

المطلوب : إيجاد الزمن اللازم لأربعة عمال لإنجاز العمل بالساعة.

الحل :

(١) الفرض : يحتاج عشرة عمال إلى 12 h لإنجاز العمل

(٢) الخطوة الوسطى : يحتاج عامل واحد إلى 12.10 h لإنجاز نفس العمل.

(٣) خطوة الحل : يحتاج أربعة عمال إلى :

$\frac{12 \cdot 10}{4} = 30$ h

**يحتاج أربعة عمال إلى 30 h لإنجاز نفس العمل.**

## التناسب المركّب

تعطى في مسائل التناسب المركب أكثر من ثلاثة أعداد، ويلزم لإيجاد الحل خطوتان على الأقل.

مثال (٣) : إذا كان أجر العامل الواحد في 8 h هو 67,20 SR ، فما هو أجر عاملين في 40 h بالريال؟

| الحل : المطلوب | أجر عاملين | في 40 ساعة | بالريال |
|---|---|---|---|
| (١) الفرض | أجر عامل واحد | في 8 ساعات هو | 67,20 SR |
| (٢) الخطوة الوسطى | أجر عامل واحد | في ساعة واحدة هو | $\frac{67,20}{8}$ SR |
| (٣) خطوة الحل الأولى | أجر عامل واحد | في 40 ساعة هو | $\frac{67,20 \cdot 40}{8}$ SR |
| خطوة الحل الثانية | أجر عاملين | في 40 ساعة هو | $\frac{67,20 \cdot 40 \cdot 2 \text{ SR}}{8} = 672,00$ SR |

**أجر عاملين في 40 ساعة هو 672,00 SR**

## تمرينات

### التناسب الطردي البسيط

٥ — ١ إذا كان أجر عامل فني هو 324,00 SR في 40 h ، فما مقدار ما يحصل عليه في 178 h؟

٥ — ٢ إذا كان أجر عامل متخصص في 175 h هو 1745,00 SR فما مقدار ما يحصل عليه في 45 h؟

٥ — ٣ إذا كان ثمن 144 مسمارا ملولبا هو 23,04 SR فما ثمن 28 مسمارا؟

٥ — ٤ إذا بيع 8 kg تفاح بمبلغ 17,28 SR فما ثمن 25 kg منه؟

٥ — ٥ كم كيلو جراما من القصدير تلزم لعمل سبيكة من البرونز زنتها 27,5 kg اذا كانت كل 40 kg من البرونز تحتوي على 5,6 kg من القصدير؟

٥ — ٦ تحتوي كل 100 kg من النحاس الأصفر المستخدم لصناعة المسامير الملولبة على 58 kg من النحاس. ما هي كمية النحاس اللازمة لصنع 32 kg من النحاس الأصفر؟

٥ — ٧ كم عدد الطوب المكوِن لقاعدة أساس حجمها $0,55\ m^3$ إذا كان المتر المكعب يحتوي على 400 طوبة؟

٥ — ٨ إذا كان كل 65 l من الملاط (المونة) تحتوي على $\frac{1}{3}$ كيس من الأسمنت الذي يزن الكيس منه 50 kg فكم لترا من المونة يمكن صنعها من خمسة أكياس من هذا الأسمنت؟

٥ — ٩ تستهلك سيارة نقل 12,8 l من الوقود لكل 100 km ، فما المسافة التي يمكن قطعها اذا كان خزان السيارة يحتوي على 55 l من الوقود؟

٥ — ١٠ تستهلك سيارة 34 l من الوقود لقطع مسافة 355 km . احسب استهلاك السيارة لكل 100 km .

٥ — ١١ إذا قطعت سيارة مسافة 27 km في 18 min فكم كيلو مترا تقطعها في الساعة؟

٥ — ١٢ تحتاج سيارة نقل إلى 28 min لتقطع طريقا جبليا طوله 12 km . كم يلزم من الوقت لقطع مسافة أخرى طولها 7,8 km في طريق جبلي له نفس الميل؟

٥ — ١٣ ينتج عامل متخصص خمس قطع متماثلة في 23 h . أوجد أجره عن كل قطعة إذا كان أجره في الساعة 9,30 SR .

٥ — ١٤ تحتاج مهمة إلى 48 h لانجازها وعليه حسبت التكاليف بمقدار 1152,00 SR .

أ ) احسب التكاليف الزائدة بالريال ، اذا زاد الوقت اللازم بمقدار 16 h .

ب) احسب الربح بالريال ، اذا أنجزت المهمة في 45 h .

### التناسب العكسي البسيط

٥ — ١٥ قام خمسة عمال بتنظيف مكان ما في 15 h . فكم ساعة يحتاج إليها ثلاثة عمال للقيام بنفس العمل؟

٥ — ١٦ قام ثلاثة عمال بعمل حفرة لماسورة في 30 h . كم ساعة يحتاج اليها خمسة عمال للقيام بنفس العمل؟

٥ — ١٧ يلزم لعمل ساتر حديقة زراعة 42 شجرة صنوبر تبعد كل منها عن الأخرى مسافة 50 cm فما هو البعد بين كل شجرتين إذا استخدمت 60 شجرة؟

٥ — ١٨ سلم ذو 8 درجات ارتفاع درجته 16 cm .

أ ) احسب الارتفاع الكلي للسلم بالسنتيمترات (cm) .

ب) إذا استبدل السلم بآخر بنفس الطول وبه 7 درجات ، احسب ارتفاع الدرجة الجديدة .

٥ — ١٩ يحتاج قطار الى 9 h لقطع مسافة ما بسرعة 72 km/h . فكم يختصر من الوقت اذا زادت سرعة القطار بمقدار 10 km/h؟

٥ — ٢٠ تقطع طائرة سرعتها 480 km/h رحلة ما في 165 min . ما مقدار التغير في زمن الطيران لنفس الرحلة إذا طارت الطائرة بسرعة 720 km/h؟

٥ — ٢١ أرضية ما مغطاة بـ 30 لوحا خشبيا عرض الواحد منها 18 cm . فإذا أريد استبدال الألواح الخشبية بأخرى عرض الواحد منها 12 cm ، كم لوحا تلزم؟

٥ — ٢٢ أعدّ طباخ في معسكر به 35 مشتركا 1,43 l من الحساء لكل منهم. ما مقدار ما يحصل عليه كل مشترك إذا حضر 25 مشتركا فقط وتم توزيع الحساء عليهم بالكامل؟

### التناسب المركب

٥ — ٢٣ تدفع مضختان 4800 l من المياه كل 24 h . كم لترا تدفعها خمس مضخات في عشر ساعات؟

٥ — ٢٤ تنجز مكنتان كبيرتان للغسيل 160 kg من الغسيل المبلل في الساعة. كم كيلو جراما تنجزها خمسة مكنات في 8 h .

٥ — ٢٥ تنقل أربع عربات 240 t من التربة في 10 h . كم طنا تنقلها :

أ ) 3 عربات في 8 h؟

ب) 7 عربات في $7\frac{1}{2}$ h ؟

ج) 5 عربات في $9\frac{1}{2}$ h ؟

٥ — ٢٦ تنتج أربعة أفران عالية 3320 t من الحديد الخام في 24 h . احسب ما تنتجه ثلاثة أفران في 8 h .

٥ — ٢٧ أنتج ثلاثة عمال فنيين 21 قطعة متماثلة خلال 12 يوما . كم قطعة ينتجها أربعة عمال في ستة أيام؟

٥ — ٢٨ أخذ خمسة مشتركين 100 l من المياه العذبة في رحلة بقارب لمدة سبعة أيام . كم لترا يأخذها :

أ ) ستة أشخاص في 8 أيام؟

ب) ثمانية أشخاص في 10 أيام؟

## حساب النسبة المئوية باستخدام القيمة المنسوب إليها وهي الأساس b ($b \triangleq 100\%$)

تسمى $\frac{1}{100}$ من قيمة ما واحد في المائة (ويرمز لها بالعلامة %)، $\frac{1}{1000}$ = واحد في الألف (ويرمز لها بالعلامة ‰).
تظهر ثلاث كميات في حساب النسبة المئوية:

**القيمة المنسوب إليها b (الأساس)**
هي الكمية التي ينسب إليها عند حساب النسبة المئوية (لاحظ الوحدات)

**تعطي النسبة المئوية p عدد الأجزاء في المائة** مع الرمز (%) بينما تعطي النسبة الألفية عدد الأجزاء في الألف مع الرمز (‰).

**القيمة المئوية v**
وهو الجزء الذي يناظر النسبة المئوية من القيمة المنسوب إليها (له نفس وحدات القيمة المنسوب إليها b).

| القيمة الأساسية (المنسوب إليها) | النسبة المئوية | القيمة المئوية |
|---|---|---|
| $b = \frac{v \cdot 100\%}{p}$ | $p = \frac{v \cdot 100\%}{b}$ | $v = \frac{b \cdot p}{100\%}$ |

مثال (١):
ما هو عدد الكيلوجرامات التي تمثل 42 kg نسبة 7% منها؟

الحل:

$$b = \frac{v \cdot 100\%}{p} = \frac{42\ kg \cdot 100}{7} = 6\,000\ kg$$

42 kg تعادل 7% من 600 kg

مثال (٢):
كم في المائة تعادل 42 kg من 600 kg؟

الحل:

$$p = \frac{v \cdot 100\%}{b} = \frac{42 \cdot 100\%}{600} = 7\%$$

42 kg من 600 kg تعادل 7%

مثال (٣):
كم kg تعادل 7% من 600 kg؟

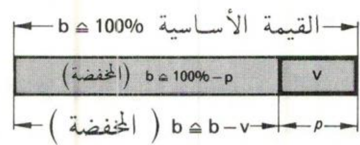
الحل:

$$v = \frac{b \cdot p}{100\%} = \frac{600\ kg \cdot 7}{100} = 42\ kg$$

7% من 600 kg تعادل 42 kg

## حساب النسبة المئوية باستخدام القيمة الأساسية (القيمة المنسوب إليها) المخفضة أو المزادة.

**القيمة الأساسية المخفضة (b المخفضة)**




$$\text{القيمة الأساسية } b = \frac{b\ (\text{المخفضة}) \cdot 100\%}{(100\% - p)}$$

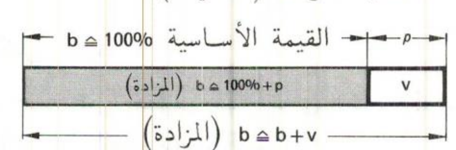
مثال (٤):
صرف مبلغ 204 SR بعد استقطاع 15% منه. احسب الأجر الإجمالي بالريال (SR) قبل الاستقطاع.

الحل:

$$100\% - 15\% = 85\% \triangleq 204\ SR$$

$$100\% \triangleq \frac{204\ SR \cdot 100}{85} = 240\ SR$$

**القيمة الأساسية المزادة (b المزادة)**




$$\text{القيمة الأساسية } b = \frac{b\ (\text{المزادة}) \cdot 100\%}{(100\% + p)}$$

مثال (٥):
إذا بلغ الأجر في الساعة 6,72 SR بعد زيادة 12%. احسب الأجر قبل الزيادة.

الحل:

$$100\% + 12\% = 112\% \triangleq 6{,}72\ SR$$

$$100\% \triangleq \frac{6{,}72\ SR \cdot 100}{112} = 6{,}00\ SR$$

## حساب الفوائد

الفوائد هي عائد رأس المال. تحسب الفوائد على الريالات الصحيحة (تهمل كسور الريالات) في السنة أو في الشهر أو في اليوم. وتسمى النسبة المئوية سعر الفائدة (p). ولحساب الفوائد يعتبر عدد الأيام في العام 360 يوما والشهر 30 يوما، ويمكن حل مسائل الفوائد باستخدام التناسب.

مثال: ما فائدة 250 SR في ثمانية شهور اذا كان سعر الفائدة 4%؟

الحل: تعطي 250 SR في سنة واحدة بسعر فائدة قدرها 4%: $2{,}50 \cdot 4\ SR$
تعطي 250 SR في شهر واحد بسعر فائدة قدرها 4%: $\frac{2{,}50 \cdot 4}{12}$
تعطي 250 SR في ثمانية شهور بسعر فائدة 4%: $\frac{2{,}50 \cdot 4}{12} \cdot 8 = 6{,}67\ SR$

وتستخدم الرموز التالية في الصيغ الرياضية لتسهيل حساب الفوائد (الفائدة = I، رأس المال = C، سعر الفائدة = p)

| حساب الفائدة في السنة | $I = \frac{C \cdot p \cdot \text{عدد السنين}}{100\%}$ | حساب الفائدة في الشهر | $\frac{C \cdot p \cdot \text{عدد الشهور}}{100\% \cdot 12}$ | حساب الفائدة في اليوم | $I = \frac{C \cdot p \cdot \text{عدد الأيام}}{100\% \cdot 360}$ |
|---|---|---|---|---|---|

تمرينات

## الحساب المئوي باستخدام القيمة الأساسية :

إحسب قيمة النسبة المئوية

| رقم المسألة | النسبة المئوية | القيمة الأساسية |
|---|---|---|
| ٦ – ١ | 3 % | 1150 SR |
| ٦ – ٢ | 3 % | 675 km |
| ٦ – ٣ | 3 1/2% | 435 min |
| ٦ – ٤ | 3 1/2% | 1240 SR |

احسب النسبة المئوية

| رقم المسألة | القيمة الأساسية | قيمة النسبة المئوية |
|---|---|---|
| ٦ — ٥ | 750 | 30 |
| ٦ — ٦ | 750 | 37,5 |
| ٦ — ٧ | 75 | 3,15 |
| ٦ — ٨ | 75 | 3,45 |

احسب القيمة الأساسية

| رقم المسألة | النسبة المئوية | قيمة النسبة المئوية |
|---|---|---|
| ٦ — ٩ | 4 % | 14 SR |
| ٦ — ١٠ | 4 % | 18 SR |
| ٦ — ١١ | 15 % | 60 cm |
| ٦ — ١٢ | 15 % | 75 cm |

٦ — ١٣ إذا أعطى بائع خصما قدره 3% على قائمة حساب بمبلغ 1280 SR على أن تدفع نقداً، فما قيمة الخصم بالريال؟

٦ — ١٤ إذا تم التأمين ضد الحريق على أثاث منزل بقيمة 13500 SR بسعر الفائدة 1,8 % من القيمة الأساسية، فما مقدار القسط السنوي للتأمين بالريال؟

٦ — ١٥ احسب الأجر الكلي إذا كانت النسبة المئوية للخصم، وقدره 34 SR هي 14 % منه.

٦ — ١٦ إذا خُفِض الوقت اللازم لعملية ما باستخدام مكنة جديدة من 72 min إلى 26 min . احسب النسبة المئوية للتوفير في الوقت.

٦ — ١٧ احسب مقدار الزيادة المئوية في الراتب الشهري إذا ما رفع من 900 SR إلى 1040 SR؟

٦ — ١٨ إذا عرض مبلغ 3150 SR ثمنا لسيارة مستعملة علما بأن سعرها وهي جديدة 7200 SR . احسب النسبة المئوية لنقص قيمة السيارة.

## حساب النسبة المئوية باستخدام القيمة الأساسية المركبة (مزادة أو مخفضة)

٦ — ١٩ إذا كلَّفت سيارة ما مبلغ 5500 SR بعد تخفيض الأسعار بمقدار 6 %. ما ثمنها قبل التخفيض؟

٦ — ٢٠ إذا سحب عميل 35 % من رصيده وتبقّى مبلغ 2500 SR، ما قيمة المبلغ المسحوب بالريالات؟

٦ — ٢١ يبلغ الأجر الأسبوعي لملاحظ عمال في عمله الجديد 403,75 SR بزيادة قدرها 14 % عن أجره السابق. احسب مقدار الزيادة بالريالات.

٦ — ٢٢ إذا تقرر معاش تقاعد لشخص ما بنسبة 66 % من دخله أثناء الخدمة فبلغ المعاش 594 SR. ما قيمة راتبه أثناء الخدمة؟

٦ — ٢٣ إذا تبقى مبلغ 756 SR لشخص ما بعد دفع الإيجار الذي يمثل 16 % من دخله الشهري. فما قيمة الإيجار؟

٦ — ٢٤ ما وزن المادة الخام اللازمة لصنع قطعة شغل تزن 32 kg إذا استهلك 68 % من المادة الخام أثناء التشغيل على شكل رائش؟

## حساب الفوائد

احسب الفوائد :

| | رأس المال بالريال (SR) | سعر الفائدة (%) | المدة (t) |
|---|---|---|---|
| ٦ — ٢٥ | 120 | 4 | 1/2 عام |
| ٦ — ٢٦ | 160 | 5 | 1/2 عام |

احسب رأس المال :

| | الفوائد بالريال (SR) | سعر الفائدة (%) | المدة (t) |
|---|---|---|---|
| ٦ — ٢٧ | 56,25 | 4,5 | 1 عام |
| ٦ — ٢٨ | 84 | 3,5 | 1 عام |

احسب سعر الفائدة :

| | الفوائد بالريال (SR) | رأس المال بالريال (SR) | المدة (t) |
|---|---|---|---|
| ٦ — ٢٩ | 18 | 400 | 1 عام |
| ٦ — ٣٠ | 10,50 | 350 | 1 عام |

احسب المدة :

| | الفوائد بالريال (SR) | رأس المال بالريال (SR) | سعر الفائدة (%) |
|---|---|---|---|
| ٦ — ٣١ | 340 | 4 000 | 4,5 |
| ٦ — ٣٢ | 52,50 | 5 000 | 4,75 |

٦ — ٣٣ اقترض مالك عقار تحت الإنشاء مبلغا قدره 12 700 SR بسعر فائدة 9 % لمدة أربعة أشهر. ما قيمة الفائدة؟

٦ — ٣٤ أودع مبلغ للتوفير قدره 2 600 SR بسعر فائدة 5 %، وبعد خمس سنوات سحب المبلغ من التوفير متضمِّنا الفوائد المركّبة. احسب المبلغ النهائي.

٦ — ٣٥ تبلغ الفوائد السنوية لقرض ما 154 SR. فما قيمة القرض إذا كان سعر الفائدة 6 %؟

٦ — ٣٦ ما قيمة رأس المال المستثمر ليعطي دخلا شهريا قدره 450 SR إذا كان سعر الفائدة $4\frac{1}{2}$ %؟

٦ — ٣٧ يعطي رصيد قدره 2 400 SR فوائد سنوية مقدارها 78 SR. فما هو سعر الفائدة؟

٦ — ٣٨ تم تسديد قرض قيمته 6 200 SR، بعد 18 يوما بمبلغ 6294 SR. احسب سعر الفائدة المتفق عليه.

٦ — ٣٩ اقترض شخص مبلغ 3 600 SR في أول يناير بسعر فائدة قدره $6\frac{1}{2}$ %. متى يصبح المبلغ وفوائده 3 800 SR؟

٦ — ٤٠ في كم يوم يعطي مبلغ 2 200 SR فائدة قدرها 54,50 SR إذا كان سعر الفائدة $4\frac{1}{2}$ %؟

## خصائص ومكونات الصيغ الرياضية — الصيغة الرياضية كمعادلة

شكل (١)

شكل (٢)

U = a+b+c

تنص القاعدة الخاصة بحساب محيط مثلث كالمبين في شكل (١) على أن: طول المحيط U = طول الضلع a + طول الضلع b + طول الضلع c. وتعبر U=a+b+c بطريقة مختصرة عن صيغة الطول.

U=a+b+c (عبارة عن صيغة رياضية).

تحتوي الصيغ الرياضية على رموز الصيغة (U, a, b, c) والعلامات الحسابية (= و +) ولها طرفان متساويان هما الطرف الأيمن والطرف الأيسر ولذا توضع بينهما علامة التساوي. **وتستخدم الصيغ الرياضية كمعادلات**، ويوضع المجهول المطلوب تعيينه على يسار علامة التساوي ويرمز للمعادلة بميزان في حالة توازن، شكل (٢).

## رموز الصيغ الرياضية

بعض الرموز الرياضية العامة (مختارات من مراجع عالمية)

| الرمز | الكمية | الرمز | الكمية |
|---|---|---|---|
| $\alpha, \beta, \gamma$ | الزاوية | F | القوة |
| l | الطول | G | الثقل (الوزن) |
| b | العرض | p | الضغط |
| h | الارتفاع | M | العزم |
| r | نصف القطر | $\mu$ | معامل الاحتكاك |
| d | القطر | W | الشغل |
| s | المسافة | P | القدرة |
| A | المساحة | $\eta$ | الكفاية |
| S | مساحة المقطع | $t, \vartheta$ | درجة الحرارة (بالتدريج المئوي) |
| V | الحجم | | |
| t | الزمن — الفترة الزمنية | n | السرعة الدورانية |
| | | $\sigma$ | إجهاد الشد (أو الضغط) |
| v | السرعة | U | الجهد الكهربائي |
| m | الكتلة، الكمية | I | شدة التيار الكهربائي |
| $\varrho$ | الكثافة $\varrho=\frac{m}{V}$ | R | المقاومة الكهربائية |

تستخدم الحروف اللاتينية واليونانية بالحجم الكبير والصغير وغالبا ما يكون لها تعريف قياسي موحد المعنى.

**suffix**: لكتابة U=a+b+c باستخدام رمز الدليل للطول l نستبدل a بالرمز $l_1$، b بالرمز $l_2$، c بالرمز $l_3$ وعندئذ يكون $U=l_1+l_2+l_3$ ويسمى العدد السفلي أو الحرف السفلي بالدليل ويستخدم للتفرقة بين الرموز المتكررة.

## التعويض في الصيغ الرياضية:

مثال: احسب طول المحيط U مستخدما الصيغة الرياضية $U=l_1+l_2+l_3$ إذا كان:

$l_1=31$ mm، $l_2=42$ mm، $l_3=53$ mm

خطوات الحل: يتبع الترتيب الآتي:

(١) تكتب المعادلة بالرموز

(٢) يعوض عن الرموز بالقيم العددية

(٣) تكتب الإجابة بالوحدات ويوضع خط أسفلها.

الحل:

(١) $U=l_1+l_2+l_3$

(٢) U = 31 mm + 42 mm + 53 mm

(٣) <u>U = 126 mm</u>

## الحساب باستعمال رموز الصيغ الرياضية

للمثلث المتساوي الأضلاع: $l_1=l_2=l_3=l$

ومنها: $U=l+l+l;\ U=3\cdot l;\ U=3l.$

لاحظ أنه يمكن جمع الحروف الأبجدية أي أنه يمكن استخدامها في الحساب.

**الجمع:**

| | أمثلة: |
|---|---|
| تجمع المعاملات فقط (2+3=5) | 2d+3d=5d |
| لا يكتب المعامل 1 (واحد) | 1d=d |
| لا يمكن جمعها لاختلاف الرموز | 2a+2d=? |
| تُرتب الحدود أبجديا ثم تجمع | 2a+3d+4a= |
| الحدود ذات الرموز المتشابهة | 2a+4a+3d= |
| | 6a+3d |

**الطرح:**

| | أمثلة: |
|---|---|
| تطرح المعاملات | 5d−3d=2d |
| لا تطرح لاختلاف الرموز | 5d−3a=? |
| ترتب الحدود أبجديا، | 5a−3d−2a= |
| ثم تطرح الحدود ذات الرموز المتشابهة | 5a−2a−3d= |
| | 3a−3d |

**الضرب:**

| | أمثلة: |
|---|---|
| لا تكتب علامة الضرب | $3\cdot a=3a$ |
| احترس من الخطأ عند كتابة الأعداد | $3\cdot 5=35$ |
| لاحظ الفروق: | $2\cdot 0=0$ |
| | $d\cdot 0=0;\ d\cdot 1=d$ |
| $d^2$ كمية أسية | $d\cdot d=d^2$ (وليس 2d) |
| تضرب المعاملات | $3a\cdot 5d=15\,a\,d$ |

**القسمة:**

| | أمثلة: |
|---|---|
| تقسم المعاملات | 6d÷3=2d |
| تقسم المعاملات | 6d÷3d=6:3=2 |
| وتختصر الرموز | d÷d=1 |
| الصفر غير قابل للقسمة | 0÷d=0 |
| لا يجوز القسمة على صفر | d÷0=? |

تمرينات

## التعويض :

٧ — ١ احسب طول المحيط U باستخدام $U=l_1+l_2+l_3$ إذا كان : $l_1=0,65$ m, $l_2=0,45$ m, $l_3=0,75$ m .

٧ — ٢ احسب طول المحيط U وذلك بالتعويض في الصيغة $U=l_1+l_2+l_3$ بالقيم التالية : $l_1=82$ cm, $l_2=45$ cm, $l_3=13$ cm .

٧ — ٣ إلى ٧ — ١٠ عوّض في الصيغ الآتية بالقيم $n=6$, $m=9$, $l=18$, $k=72$, واحسب قيمة x المناظرة :

٧ — ٣ $x=k+l+m+n$

٧ — ٤ $x=k+l+m-n$

٧ — ٥ $x=k+l-m-n$

٧ — ٦ $x=k+l-m+n$

٧ — ٧ $x=k-l-m-n$

٧ — ٨ $x=k-l-m+n$

٧ — ٩ $x=k-l+m+n$

٧ — ١٠ $x=k-l+m-n$

## اجمع :

٧ — ١١ $m+m+m$

٧ — ١٢ $d+d+d$

٧ — ١٣ $a+2a+3a$

٧ — ١٤ $5c+c+2c$

٧ — ١٥ $m+n+m$

٧ — ١٦ $a+b+a$

٧ — ١٧ $7c+3c+10$

٧ — ١٨ $5a+2a+7$

٧ — ١٩ $3a+b+2a+3b+a+5b+b+4a$

٧ — ٢٠ $4c+2m+7c+m+2c+3m+c$

٧ — ٢١ $3d+4k+5h+k+2h+d+5k+h$

٧ — ٢٢ $4r+s+2t+r+5s+t+2r+3t$

٧ — ٢٣ $0,36+0,6c+1,5g+2c+0,1g+g$

٧ — ٢٤ $2,1m+3,4p+7,8m+0,5p+1,1m+1,1$

٧ — ٢٥ $\frac{2}{5}a+\frac{3}{4}a+\frac{1}{6}$

٧ — ٢٦ $\frac{2}{3}b+\frac{1}{4}b+\frac{1}{5}$

٧ — ٢٧ $\frac{1}{5}t+\frac{2}{3}t+t$

٧ — ٢٨ $\frac{1}{8}k+\frac{3}{4}k+k$

## اطرح :

٧ — ٢٩ $m-m$

٧ — ٣٠ $n-n$

٧ — ٣١ $15l-12l$

٧ — ٣٢ $6a-2a$

٧ — ٣٣ $3a-2a-7$

٧ — ٣٤ $4x-3x-9$

٧ — ٣٥ $4g-2g-g$

٧ — ٣٦ $5f-2f-f$

٧ — ٣٧ $4a-3a-b$

٧ — ٣٨ $6r-5r-t$

٧ — ٣٩ $18s-5s-3s-s-4s-2s-s$

٧ — ٤٠ $14r-3r-r-5r-2r-r$

٧ — ٤١ $3,9b-1,8b-b-0,4b-0,15b$

٧ — ٤٢ $2,8y-y-0,16y-0,7y-0,5y$

## اجمع واطرح :

٧ — ٤٣ $9a+3a+4c+c+4d-3d-d$

٧ — ٤٤ $16m-15m+16n-14n+7p-4p$

٧ — ٤٥ $71-3m+5n+7m-61+2n-4m$

٧ — ٤٦ $14g+32-5k-7g+8-3h+7g+k$

٧ — ٤٧ $8a-5c-7d+2a-9a+8c+7d$

٧ — ٤٨ $16r+15s+12t-15r-14s-11t$

٧ — ٤٩ $0,2x+0,3x-0,12y+2,5z+1,2y$

٧ — ٥٠ $1,5c+1,3d-1,4c-0,2d+0,5e$

## اضرب :

٧ — ٥١ $5\cdot 3a$

٧ — ٥٢ $12\cdot 3b$

٧ — ٥٣ $5c\cdot 3a$

٧ — ٥٤ $8m\cdot 5n$

٧ — ٥٥ $3a\cdot 4c\cdot 5x$

٧ — ٥٦ $2r\cdot 3s\cdot 4t$

٧ — ٥٧ $5m\cdot 7\cdot 3n\cdot 6$

٧ — ٥٨ $4x\cdot 3\cdot 5y\cdot 4$

٧ — ٥٩ $2k\cdot 3m\cdot 5n\cdot 0,2p\cdot 0,1r\cdot 0,05l$

٧ — ٦٠ $5c\cdot 7a\cdot 0,1d\cdot 1,5e\cdot 0,02f\cdot 15$

٧ — ٦١ $0,2x\cdot 0,3y\cdot 0,4z\cdot 1,5a\cdot 1,1b\cdot 10$

٧ — ٦٢ $x\cdot 2y\cdot 3z\cdot 0,4u\cdot 2\cdot 5v\cdot 100$

٧ — ٦٣ $\frac{3}{4}a\cdot\frac{4}{5}b\cdot\frac{1}{2}$

٧ — ٦٤ $\frac{2}{5}f\cdot\frac{3}{4}k\cdot\frac{5}{6}$

٧ — ٦٥ $0,5r\cdot\frac{2}{7}t$

٧ — ٦٦ $\frac{3}{8}m\cdot 2n$

## اقسم :

٧ — ٦٧ $4a\div 4$

٧ — ٦٨ $3c\div 3$

٧ — ٦٩ $4a\div a$

٧ — ٧٠ $3c\div c$

٧ — ٧١ $2a\div 4$

٧ — ٧٢ $3d\div 6$

٧ — ٧٣ $a\div 1$

٧ — ٧٤ $d\div 1$

٧ — ٧٥ $8d\div 4d$

٧ — ٧٦ $10f\div 2f$

٧ — ٧٧ $6ax\div 3x$

٧ — ٧٨ $8bx\div 4b$

٧ — ٧٩ $xy\div xz$

٧ — ٨٠ $ab\div ac$

٧ — ٨١ $15a\div 3b$

٧ — ٨٢ $9x\div 3y$

٧ — ٨٣ $\frac{45r\cdot 5s\cdot 7t}{9r\cdot s\cdot t}$

٧ — ٨٤ $\frac{36l\cdot 14m\cdot 3n}{14l\cdot 12m\cdot n}$

٧ — ٨٥ $\frac{33abcd}{55bcx}$

٧ — ٨٦ $\frac{72hklm}{90hmf}$

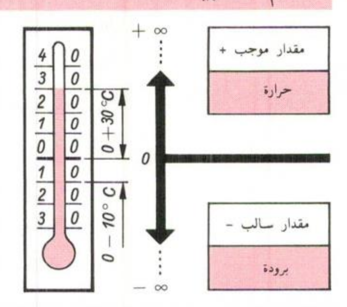
٧ — ٨٧ $\frac{3}{4}a\div\frac{4}{5}b$

٧ — ٨٨ $\frac{2}{5}f\div\frac{3}{4}k$

٧ — ٨٩ $5r\div\frac{3}{4}f$

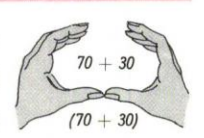
٧ — ٩٠ $3m\div\frac{2}{5}n$

## القيم النسبية




تعني القراءة 30°C+ لدرجة الحرارة بالتفصيل (0+30°C) بينما القراءة 10°C − فتعني (0−10°C). وتسمى القيمة المنسوبة للصفر بالقيمة النسبية ويتم التعرّف عليها من إشارتها. وتمتد الأعداد من ∞ − مارة بالصفر إلى ∞ + (∞ تقرأ مالانهاية). وتسمى الأعداد من 0 إلى ∞ + بالأعداد الموجبة وتسبقها الإشارة الموجبة (+) بينما تسمى الأعداد من ∞ − إلى 0 بالأعداد السالبة وتسبقها الإشارة السالبة (−). ويجوز في حالة الأعداد الموجبة عدم كتابة الإشارة بينما لا يصح ذلك في حالة الأعداد السالبة ويسمى العدد بدون إشارته بالقيمة المطلقة للعدد.

## الأقواس: تضم الأقواس الكميات التي ينتمي بعضها إلى بعض




مثال: أوجد قيمة 10÷30+70. الحل: $73 = 70+3 = 70+\frac{30}{10} = 70+30\div10$. تتم هنا عملية القسمة أولا ثم الجمع وذلك لأن حساب الضرب والقسمة يسبق حساب الجمع والطرح. فإذا ما وجب الحساب بطريقة أخرى لكي يجمع 30+70 أولا ثم يقسم على 10 وجب وضع قوسين حول المجموع وتكتب كما يلي: $(70+30)\div10 = 100\div10 = 10$.

## الحساب بالأقواس

**إذا سبقت القوس إشارة موجبة (+)**

6+(18−5)=

6+18−5=19

**إذا سبقت القوس إشارة سالبة (−)**

6−(18−5)=

6−18+5=−7

**إرشادات:**

إذا سبقت القوس إشارة موجبة تلغى الأقواس ثم يكمل الحساب.

إذا سبقت القوس إشارة سالبة تعكس الإشارات داخل الأقواس ثم يكمل الحساب.

**إذا سبق القوس عامل ضرب (قوس مع عامل ضرب)**

6(18−5)=

6·18−6·5=

108−30=78

**إذا تلا القوس رقم مقسوم عليه (قوس مع مقسوم عليه)**

(18−5)÷6=

$18\div6-5\div6=2\frac{1}{6}$

**إرشادات:**

إذا سبق القوس عامل ضرب يضرب كل ما بداخل القوسين في العامل.

إذا تلا القوس رقم مقسوم عليه يقسم كل حد داخل القوسين على المقسوم عليه.

**القوس المزدوج:** 15−[12+(3−6)+4]=15−[12+3−6+4]=?

15−12−3+6−4=15+6−12−3−4=21−19=2

في حالة الأقواس المزدوجة تفك أولا الأقواس الدائرية (الداخلية) ثم الأقواس المربعة (الخارجية). يُراعى تغيير الإشارات.

**ضرب قوسين:** (a+b)·(a+b)=a·a+a·b+b·a+b·b=?

$a^2+ab+ab+b^2=a^2+2ab+b^2$

في حالة ضرب قوسين يضرب كل حد داخل القوس الأول في جميع حدود القوس الثاني ثم يختصر.

**أخذ عامل مشترك خارج الأقواس**

(١) 3·5−3·7+3·12=

3 (5−7+12)=30

(٢) 4 r+8 s+12 t=

4 (r+2 s+3 t)

(٣) 2ac+5ad+4a=

a(2c+5d+4)

(٤) $U=2l_1+2l_2$

$U=2(l_1+l_2)$

## الحساب بالقيم النسبية

**الجمع**

+9+(+5)=9+5=14

+9+(−5)=9−5=4

−9+(+5)=−4

−9+(−5)=−14

**الطرح**

+9−(+5)=9−5=4

+9−(−5)=9+5=14

−9−(+5)=−14

−9−(−5)=−4

**خطوات الحل:** تفك أولا الأقواس ثم:

(١) تجمع الأعداد متماثلة الإشارة ويأخذ المجموع نفس الإشارة.

(٢) يطرح العدد الصغير من العدد الكبير في الأعداد مختلفة الإشارة ويأخذ باقي الطرح إشارة العدد الكبير.

**الضرب**

9(+5)=9·5= 45

9(−5)= −45

−9(+5)=−9·5= −45

−9(−5)= 45

a (+b)=+ab=ab

a (−b)=−ab

−a(+b)=−ab

−a(−b)=+ab=ab

**القسمة**

9÷(+5)=9÷5= 1,8

9÷(−5)= −1,8

−9÷(+5)=−9÷5= −1,8

−9÷(−5)= 1,8

$\frac{+a}{+b}=\frac{a}{b}$ $\frac{-a}{+b}=-\frac{a}{b}$

$\frac{+a}{-b}=-\frac{a}{b}$ $\frac{-a}{-b}=\frac{a}{b}$

| في عمليات ضرب وقسمة الأقواس: تعطي الإشارتان المتماثلتان قيمة موجبة | |
|---|---|
| (+)÷(+)=+ | (+)·(+)=+ |
| (−)÷(−)=+ | (−)·(−)=+ |
| **وتعطي الإشارتان المختلفان قيمة سالبة** | |
| (+)÷(−)=− | (+)·(−)=− |
| (−)÷(+)=− | (−)·(+)=− |

## تمرينات

### القيم النسبية

#### الجمع

٨ — ١ $+2b+(+3b)$
٨ — ٢ $+3a+(+2a)$
٨ — ٣ $+5x+(-3x)$
٨ — ٤ $+7c+(-7c)$
٨ — ٥ $-9b+(+6b)$
٨ — ٦ $-3x+(+2x)$
٨ — ٧ $-8d+(-3d)$
٨ — ٨ $-6m+(-m)$
٨ — ٩ $-9+(+7)$
٨ — ١٠ $-14+(+15)$

#### الطرح

٨ — ١١ $+10-(+12)$
٨ — ١٢ $+12-(+10)$
٨ — ١٣ $+22-(-8)$
٨ — ١٤ $+18-(-2)$
٨ — ١٥ $+6-(+6)$
٨ — ١٦ $-9-(-9)$
٨ — ١٧ $9a-(-5a)$
٨ — ١٨ $6x-(+5x)$
٨ — ١٩ $8n-(+9n)$
٨ — ٢٠ $14a-(-6a)$
٨ — ٢١ $-6m-(+6m)$
٨ — ٢٢ $-4l-(-4l)$
٨ — ٢٣ $-8s-(-7s)$
٨ — ٢٤ $-6a-(+7a)$
٨ — ٢٥ $-4-(-5)$
٨ — ٢٦ $-9-(+9)$

#### الضرب

٨ — ٢٧ $+5(-6)$
٨ — ٢٨ $-4(+3)$
٨ — ٢٩ $-8(-9)$
٨ — ٣٠ $-7(-2)$
٨ — ٣١ $+2(-3a)$
٨ — ٣٢ $+5(-7b)$
٨ — ٣٣ $+2b(-15)$
٨ — ٣٤ $+4x(-8)$
٨ — ٣٥ $-5c(+3a)$
٨ — ٣٦ $-6d(+4b)$
٨ — ٣٧ $+6x(-3b)$
٨ — ٣٨ $+8l\cdot(-2z)$
٨ — ٣٩ $(-n)\cdot(-m)$
٨ — ٤٠ $(-n)\cdot(+m)$
٨ — ٤١ $3a(-3b)$
٨ — ٤٢ $5b(-d)$
٨ — ٤٣ $-x(+4c)$
٨ — ٤٤ $-y(+4x)$

#### القسمة

٨ — ٤٥ $+xy\div(-y)$
٨ — ٤٦ $-ab\div(+a)$
٨ — ٤٧ $6a\div(-6)$
٨ — ٤٨ $-6a\div(-6)$
٨ — ٤٩ $ax\div(-a)$
٨ — ٥٠ $-6x\div(-x)$
٨ — ٥١ $4ab\div(-2a)$
٨ — ٥٢ $15ax\div(-3a)$
٨ — ٥٣ $-12a\div(+4)$
٨ — ٥٤ $15b\div(-3)$
٨ — ٥٥ $-9m\div(-9)$
٨ — ٥٦ $-3f\div(-f)$

### الأقواس

#### + قوس

٨ — ٥٧ $a+(a+5)$
٨ — ٥٨ $b+(8+5b)$
٨ — ٥٩ $3a+(a-b)$
٨ — ٦٠ $3a+(8-a)$
٨ — ٦١ $5x+(2x+y)$
٨ — ٦٢ $2a+(7a+5b)$
٨ — ٦٣ $(15-m)+(m+7)$
٨ — ٦٤ $(8+n)+(7-n)$

#### − قوس

٨ — ٦٥ $15-(5+a)$
٨ — ٦٦ $6-(b-10)$
٨ — ٦٧ $2a-(8-a)$
٨ — ٦٨ $5x-(12+x)$
٨ — ٦٩ $l+m-(l-m)$
٨ — ٧٠ $c-d-(c+d)$
٨ — ٧١ $7x-(4x+6)$
٨ — ٧٢ $5u-(18+3u)$
٨ — ٧٣ $x-(x-y+z)$
٨ — ٧٤ $l-(-l+m+n)$

#### ضرب معامل في قوس

٨ — ٧٥ $5(x+3)$
٨ — ٧٦ $9(b-4)$
٨ — ٧٧ $6(b+c)$
٨ — ٧٨ $7(d+e)$
٨ — ٧٩ $-2(2l+3)$
٨ — ٨٠ $-5(3m+4)$
٨ — ٨١ $4(2x+5y)$
٨ — ٨٢ $5(3b-4d)$
٨ — ٨٣ $b(x-1)$
٨ — ٨٤ $c(d+1)$
٨ — ٨٥ $-x(a-b+c)$
٨ — ٨٦ $-5(x+y-z)$

#### قسمة ما في داخل القوس

٨ — ٨٧ $(5a+5c)\div5$
٨ — ٨٨ $(12x+12y)\div6$
٨ — ٨٩ $(20m+8n)\div4$
٨ — ٩٠ $(18r+6s)\div6$
٨ — ٩١ $(ax+bx)\div x$
٨ — ٩٢ $(ab+ac)\div a$
٨ — ٩٣ $(8bc+4bd)\div4b$
٨ — ٩٤ $(9gh+3gl)\div3g$
٨ — ٩٥ $(12x+9y+3z)\div3xy$
٨ — ٩٦ $(8cd-4cde)\div2cd$

#### الأقواس المزدوجة

٨ — ٩٧ $17-[10-(3-15)]$
٨ — ٩٨ $38+[-10-(25-6)]$
٨ — ٩٩ $85-[30+(40-10)]$
٨ — ١٠٠ $115+[60-(70-45)]$
٨ — ١٠١ $4[(63-17)-(28-15)]$
٨ — ١٠٢ $3[31-5(47-53)]$
٨ — ١٠٣ $3a-[9a+(b+15)]$
٨ — ١٠٤ $5x+[2y-(x+y)]$
٨ — ١٠٥ $18c-[(8c+15m)-4m]$
٨ — ١٠٦ $4n+[-(3n+2m)+m]$
٨ — ١٠٧ $2a[3b-(2b+3c)]$
٨ — ١٠٨ $3d[-(5r+7s)+5r]$

#### ضرب الأقواس

٨ — ١٠٩ $(a+1)(a+1)$
٨ — ١١٠ $(a-1)(a-1)$
٨ — ١١١ $(a+1)(a-1)$
٨ — ١١٢ $(x+2)(x+2)$
٨ — ١١٣ $(2a+2)(2a+2)$
٨ — ١١٤ $(3x+4)(3x-4)$
٨ — ١١٥ $(a+3)(b+4)$
٨ — ١١٦ $(a+b)(x-y)$
٨ — ١١٧ $(a+b)(a+b+c)$
٨ — ١١٨ $(x+y)(x-y+c)$

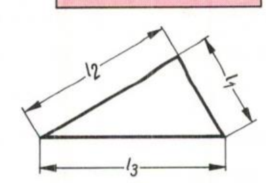
#### إخراج معامل مشترك

٨ — ١١٩ $9\cdot13+3\cdot13-7\cdot13$
٨ — ١٢٠ $15\cdot23-23\cdot7+12\cdot23$
٨ — ١٢١ $4a+4b$
٨ — ١٢٢ $5x+5y$
٨ — ١٢٣ $4d+4e-4f$
٨ — ١٢٤ $ry-sy-ty$
٨ — ١٢٥ $ab-a-ac$
٨ — ١٢٦ $mx+my-m$
٨ — ١٢٧ $72a+24b-42c$
٨ — ١٢٨ $60xy-15xz-10xa$
٨ — ١٢٩ $18bc-15b+12bd$
٨ — ١٣٠ $25mn+5mp-3m$

## ٩ – التبديل : حاصل الجمع وباقي الطرح (التبديل هو استنتاج صور أخرى من الصيغة الرياضية الأصلية)

الصيغة الرياضية الأصلية :

$U=l_1+l_2+l_3$




تبديلات :

$l_1=U-l_2-l_3$

$l_2=U-l_1-l_3$

$l_3=U-l_1-l_2$

باستخدام الصيغة $U=l_1+l_2+l_3$ لايتم حساب محيط المثلث فقط ، وإنما يمكن حساب طول أي ضلع فيه أيضا ، وذلك بتبديل الحدود في الصيغة ، بحيث لا يظهر في الطرف الأيسر U كقيمة مطلوب إيجادها ، وإنما يظهر $l_1$ أو $l_2$ أو $l_3$ ويرمز غالبا للقيمة المجهولة بالرمز x .

**يكتفي من يجيد إجراء عملية التبديل بحفظ الصيغة الرياضية الأصلية فقط**

**تجرى التبديلات في المعادلات** على خطوات ، تبعا لقواعد محددة ، حتى تظهر القيمة المطلوب إيجادها منفردة في أحد الطرفين .

ملاحظة :

١ – لا يجوز أثناء التبديل حذف أو نسيان أي حد من حدود الصيغة الرياضية الأصلية .

٢ – يجب الحفاظ على التوازن بين طرفي المعادلة ، أي أنه يمكن إجراء الآتي بالنسبة لطرفي المعادلة معا :

أ ) إضافة أو طرح قيم متساوية .

ب) الضرب في قيم متساوية أو القسمة على قيم متساوية .

### التبديل بالإكمال والاختصار

مسألة رقم (١) :

اوجد قيمة $l_1$ بإجراء التبديل على الصيغة : $U=l_1+l_2+l_3$ في أربع خطوات .

إرشادات :

١ – ضع الصيغة الرياضية الأصلية في ميزان المعادلة :

$U \quad = \quad l_1+l_2+l_3$

٢ – بتبديل الأطراف تظهر $l_1$ في الطرف الأيسر :

$l_1+l_2+l_3 \quad = \quad U$

٣ – أكمل الطرفين بإضافة $-l_2$ ، $-l_3$ :

$l_1+l_2+l_3-l_2-l_3=U-l_2-l_3$

٤ – اختصر الطرف الأيسر :

$+l_2$ مع $-l_2$

$+l_3$ مع $-l_3$

$l_1+\cancel{l_2}+\cancel{l_3}-\cancel{l_2}-\cancel{l_3}=U-l_2-l_3$

الحل : $\underline{l_1=U-l_2-l_3}$

قاعدة نقل الحدود :

عند نقل الحدود من طرف إلى آخر يجب تغيير إشاراتها :

| | |
|---|---|
| إشارة (+) في الطرف الأيسر تصبح (–) في الطرف الأيمن . | إشارة (+) في الطرف الأيمن تصبح (–) في الطرف الأيسر . |
| إشارة (–) في الطرف الأيسر تصبح (+) في الطرف الأيمن . | إشارة (–) في الطرف الأيمن تصبح (+) في الطرف الأيسر . |

### التبديل باستخدام قاعدة نقل الحدود

مسألة (٢) :

اوجد قيمة $l_2$ بإجراء التبديل على الصيغة : $U=l_1+l_2+l_3$ وراقب تغيير إشارة كل من $l_1$ ، $l_3$

١ – الصيغة الرياضية الأصلية : $U=l_1+l_2+l_3$

٢ – تبادل الأطرف : $l_1+l_2+l_3=U$

٣ – الترتيب : $l_2+l_1+l_3=U$

٤ – الإكمال : $l_2+l_1+l_3-l_1-l_3=U-l_1-l_3$

٥ – الاختصار : $l_2+\cancel{l_1}+\cancel{l_3}-\cancel{l_1}-\cancel{l_3}=U-l_1-l_3$

الحل : $\underline{l_2=U-l_1-l_3}$

ملاحظة :

تصبح $+l_1$ بعد نقلها إلى الطرف الآخر $-l_1$

تصبح $+l_3$ بعد نقلها إلى الطرف الآخر $-l_3$

النتيجة : تتغير إشارات الحدود عند نقلها من طرف إلى آخر .

مثال :

أوجد قيمة x بإجراء التبديل على الصيغة : $x+c-d=a$

وذلك بنقل كل من $+c$ و $-d$ إلى الطرف الآخر غير المحتوي على x .

الحل :

$x+c-d=a$

$\underline{x=a-c+d}$

## تمرينات :

### نقل الحدود – تبديل الأطراف

٩ – ١ $x+7=15$
٩ – ٢ $x-7=15$
٩ – ٣ $x-7+8=23$
٩ – ٤ $x+7-8=23$
٩ – ٥ $x-7-5=-16$
٩ – ٦ $x-8-6=-12$
٩ – ٧ $x-2{,}5=0$
٩ – ٨ $x+15=0$
٩ – ٩ $x-a=b$
٩ – ١٠ $x-b=a$
٩ – ١١ $x-m+n=k$
٩ – ١٢ $x+m-n=k$
٩ – ١٣ $17=25+x$
٩ – ١٤ $32=22+x$
٩ – ١٥ $12=x-36$
٩ – ١٦ $15=x+15$
٩ – ١٧ $10=x-5+6$
٩ – ١٨ $12=x+8-4$
٩ – ١٩ $a=x+b$
٩ – ٢٠ $b=x+a$
٩ – ٢١ $a+b=x-a$
٩ – ٢٢ $r+s=x+t$
٩ – ٢٣ $m+n=x+m$
٩ – ٢٤ $a-b=a+x$

### المجهول مضروب في معامل

مثال (١) :

$10x-7=3$
$10x=3+7$
$10x=10$
$x=10\div 10$
$\underline{x=1}$

التدقيق :
عوّض عن x بالقيمة المحسوبة

$10\cdot 1-7=3$
$10\ \ -7=3$
$\underline{3=3}$

٩ – ٢٥ $31x+23=116$
٩ – ٢٦ $17x+37=122$
٩ – ٢٧ $7x-18=17$
٩ – ٢٨ $3x-9=78$
٩ – ٢٩ $5x+11=36$
٩ – ٣٠ $7x+1=57$
٩ – ٣١ $123=39+3x$
٩ – ٣٢ $+8=-22+5x$
٩ – ٣٣ $-19=9x-100$
٩ – ٣٤ $120=23x+97$
٩ – ٣٥ $25=4x+21$
٩ – ٣٦ $90=10x+10$

### المجهول تسبقه إشارة سالبة

مثال (٢) :

$18-2x=12$
$18=12+2x$
$12+2x=18$
$2x=18-12$
$2x=6;\ \underline{x=3}$

أو مثال (٣) :

$24=39-3x$
$24+3x=39$
$3x=39-24$
$3x=15$
$\underline{x=5}$

مثال (٤) :

$18-2x=12$
$-2x=+12-18$
$-2x=-6$
$(-1)\cdot(-2x)=(-1)\ (-6)$
$2x=6;\ \underline{x=3}$

اجعل إشارة x موجبة بنقلها إلى الطرف الأيمن (انظر مثال ٢) أو إلى الطرف الأيسر (انظر مثال ٣) أو بضرب الطرفين في (-1) (انظر مثال ٤)

٩ – ٣٧ $8-x=7$
٩ – ٣٨ $30-x=5$
٩ – ٣٩ $4{,}2=11{,}6-x$
٩ – ٤٠ $2{,}8=3{,}6-x$
٩ – ٤١ $105-10x=35$
٩ – ٤٢ $102-14x=18$
٩ – ٤٣ $1-3x=-23$
٩ – ٤٤ $2{,}5-0{,}5x=-1{,}5$
٩ – ٤٥ $35=103-17x$
٩ – ٤٦ $23=100-11x$
٩ – ٤٧ $-7{,}8=1{,}6-4{,}7x$
٩ – ٤٨ $-5{,}2=4{,}4-3{,}2x$
٩ – ٤٩ $a=b-x$
٩ – ٥٠ $c-x=m$

### إذا كان المجهول بداخل قوس تسبقه إشارة موجبة (+) أو سالبة (-)

مثال (٥) :

$18+(x-3)=12$
$18+x-3=12$
$x=12-18+3$
$x=15-18$
$\underline{x=-3}$

مثال (٦) :

$15-(x+3)=9$
$15-x-3=9$
$12-x=9$
$12=9+x$
$\underline{x=12-9=3}$

ملاحظة : فُكّ الأقواس أولا ثم أجر عملية التبديل

٩ – ٥١ $17+(4x-9)=26$
٩ – ٥٢ $32+(3x-16)=28$
٩ – ٥٣ $15=(3x+2)-17$
٩ – ٥٤ $18=(3x+7)-19$
٩ – ٥٥ $10=72-(8x+6)$
٩ – ٥٦ $36=18-(18x-54)$
٩ – ٥٧ $5-[-(3x+4)]=24$
٩ – ٥٨ $13-[-(5x-7)]=26$

### عندما يظهر المجهول في أكثر من حد من حدود المعادلة :

مثال (٧) :

$8x-15+3x=7$
$8x+3x=7+15$
$11x=22$
$\underline{x=2}$

مثال (٨) :

$4x+6=x+21$
$4x-x=21-6$
$3x=15$
$\underline{x=5}$

ترتّب أولا جميع الحدود المحتوية على x في الطرف الأيسر وجميع الحدود الخالية من x في الطرف الأيمن

٩ – ٥٩ $9x-16-3x=26$
٩ – ٦٠ $17x-21-9x=35$
٩ – ٦١ $5x+9=2x+48$
٩ – ٦٢ $9x+15=6x+57$
٩ – ٦٣ $7x=5+3x+19$
٩ – ٦٤ $5x=31+2x+11$
٩ – ٦٥ $7x=21-(49x-63)$
٩ – ٦٦ $4x=98-(9x-6)$
٩ – ٦٧ $18x=[84-(7x+9)]$
٩ – ٦٨ $3x=[19-(8x-14)]$
٩ – ٦٩ $48x-17x-29=24x-99+42$
٩ – ٧٠ $12x-16+7x=56-5x+24$
٩ – ٧١ $51x-45-9x=106-39x-71+x$
٩ – ٧٢ $100x-7x+38-100=31x+141-25x+58$
٩ – ٧٣ $17x+13-7x+23=10x-29-5x+100$
٩ – ٧٤ $19x+97-3x-17=9x+12+4x+83$
٩ – ٧٥ $6x-25+(x-42)=4x-(x+13)$
٩ – ٧٦ $7x-31+(9x-23)=(3x-11)-4$
٩ – ٧٧ $5x-(7x-10)=91+(21-8x)$
٩ – ٧٨ $(18-7x)-(28-17x)=-(9x-47)$
٩ – ٧٩ $12x-[5x+(6-3x)]=7x+33$
٩ – ٨٠ $16+[16x-(8x-8)]=48-4x$

الصيغة الرياضية الأصلية :

$$A=\frac{l\cdot h}{2}$$

التبديلات :

| |
|---|
| $l=\frac{2\cdot A}{h}$ |
| $h=\frac{2\cdot A}{l}$ |

قد تظهر القيمة l أو h المطلوب إيجادها كعامل في مقام معادلة كسرية . ويمكن تعيينها بالإكمال والاختصار أو بتطبيق قاعدة نقل الحدود .

مثال (١) :

أوجد قيمة l بإجراء التبديل على الصيغة الرياضية $A=\frac{l\cdot h}{2}$ وذلك بالإكمال والاختصار .

١ - الصيغة الرياضية الأصلية : $A=\frac{l\cdot h}{2}$

٢ - تبديل الأطراف : $\frac{l\cdot h}{2}=A$

٣ - أكمل باستعمال $\frac{2}{h}$ : $\frac{l\cdot h\cdot 2}{2\cdot h}=\frac{A\cdot 2}{h}$

٤ - الاختصار : $\frac{l\cdot \cancel{h}\cdot \cancel{2}}{\cancel{2}\cdot \cancel{h}}=\frac{A\cdot 2}{h}$

الحل : $l=\frac{2\cdot A}{h}$

ملاحظة : بنقل الحدود صار البسط h مقاما وصار المقام 2 بسطا .

قد تظهر القيمة المطلوب إيجادها في مقام معادلة كسرية . وفي هذه الحالة يجب وضعها في البسط .

مثال (٢) :

أوجد t بإجراء التبديل على الصيغة : $v=\frac{s}{t}$

١ — الصيغة الرياضية الأصلية : $v=\frac{s}{t}$

٢ — الإكمال الأول : $v\cdot t=\frac{s\cdot t}{t}$

٣ — الاختصار : $v\cdot t=\frac{s\cdot \cancel{t}}{\cancel{t}}$

٤ — الإكمال الثاني : $\frac{v\cdot t}{v}=\frac{s}{v}$

٥ — الاختصار : $\frac{\cancel{v}\cdot t}{\cancel{v}}=\frac{s}{v}$

الحل : $t=\frac{s}{v}$

ملاحظة : لوضع القيمة t المطلوب إيجادها في البسط يلزم استخدام عمليتي إكمال .

قاعدة نقل الحدود :

يصبح البسط في الطرف الأيسر مقاما في الطرف الأيمن . ويصبح المقام في الطرف الأيسر بسطا في الطرف الأيمن

## خصائص وتبديل التناسبات (معادلات النسب)

إذا تشابه المثلثان قائما الزاوية (انظر الشكل) تكون النسبة بين الضلعين $l_1$ و $l_2$ مساوية للنسبة بين الارتفاعين $h_1$ و $h_2$، وتسمى المعادلة $l_1:l_2=h_1:h_2$ معادلة النسبة أو التناسب .

$l_1=8$ ، $l_2=12$ ، $h_1=6$ ، $h_2=9$

مثال (٣) :
اوجد قيمة $h_2$ بإجراء التبديل على $l_1:l_2=h_1:h_2$

طريقة الحل :
١ - التناسب
٢ - معادلة الضرب
٣ - نقل الحد $l_1$
٤ - الحل

(١) $l_1:l_2=h_1:h_2$

(٢) $l_1\cdot h_2=l_2\cdot h_1$

(٣) $h_2=\frac{l_2\cdot h_1}{l_1}$

(٤) $h_2=\frac{l_2\cdot h_1}{l_1}$

تكون الكميات ذات علاقة مباشرة مثل «تزداد h كلما زادت l» أي تتناسب طرديا . في حين تكوّن الكميات ذات علاقة غير مباشرة (كالسرعة الدورانية والقطر في حالة الإدارة بالسيور) تناسبا عكسيا .

| التناسب |
|---|
| $l_1:l_2=h_1:h_2$ |

يحوَّل التناسب إلى معادلة ضرب قبل التبديل تبعا للقاعدة :

حاصل ضرب الطرفين $l_1\cdot h_2$ يساوي حاصل ضرب الوسطين $l_2\cdot h_1$

| معادلة الضرب |
|---|
| $l_1\cdot h_2=l_2\cdot h_1$ |

## تمرينات

### معادلات الضرب :

١٠ — ١ $9x=5{,}4$
١٠ — ٢ $5x=27{,}5$
١٠ — ٣ $5x=1$
١٠ — ٤ $3x=0{,}3$
١٠ — ٥ $6x=4{,}8$
١٠ — ٦ $37x=22{,}2$
١٠ — ٧ $0{,}8x=42{,}4$
١٠ — ٨ $0{,}4x=500$
١٠ — ٩ $4x=-20$
١٠ — ١٠ $11x=-121$
١٠ — ١١ $2{,}5x=-0{,}5$
١٠ — ١٢ $3{,}2x=-1{,}28$
١٠ — ١٣ $5x=15\,a$
١٠ — ١٤ $5ax=10\,a$

١٠ — ١٥ $2ax=4a$
١٠ — ١٦ $3x=12a$
١٠ — ١٧ $abx=2abc$
١٠ — ١٨ $cbx=5abc$
١٠ — ١٩ $22=33x$
١٠ — ٢٠ $5{,}6=7x$
١٠ — ٢١ $U=3{,}14x$
١٠ — ٢٢ $U=4x$
١٠ — ٢٣ $12a=2x$
١٠ — ٢٤ $15a=5x$
١٠ — ٢٥ $10a=5ax$
١٠ — ٢٦ $18b=3bx$
١٠ — ٢٧ $a=bxc$
١٠ — ٢٨ $ab=cx$

مثال (١) :

$3x+9=21$
$3x=21-9$
$3x=12$
$\underline{x=4}$

مثال (٢) :

$5x+7=2x+16$
$5x-2x=16-7$
$3x=9$
$\underline{x=3}$

رتب ، بحيث تظهر الحدود المحتوية على x في الطرف الأيسر ، والحدود الخالية من x في الطرف الأيمن

١٠ — ٢٩ $5x+7=42$
١٠ — ٣٠ $8x+12=20$
١٠ — ٣١ $11x+4=81$
١٠ — ٣٢ $27x+17=125$
١٠ — ٣٣ $17x+11=96$
١٠ — ٣٤ $11x+17=116$
١٠ — ٣٥ $3x-5=22$
١٠ — ٣٦ $7x-6=43$
١٠ — ٣٧ $13x-74=17$

١٠ — ٣٨ $17x-9=93$
١٠ — ٣٩ $30=86-7x$
١٠ — ٤٠ $13=100-29x$
١٠ — ٤١ $25=29-4x$
١٠ — ٤٢ $37=147-11x$
١٠ — ٤٣ $ax-b=c$
١٠ — ٤٤ $a=bx+c$
١٠ — ٤٥ $m+nx=2m$
١٠ — ٤٦ $a+bx=2a$

مثال (٣) :

$4(x+2)=20$
$4x+8=20$
$4x=20-8$
$\underline{x=3}$

مثال (٤) :

$mx+nx=a$
$x(m+n)=a$
$\underline{x=\frac{a}{m+n}}$

١٠ — ٤٧ $6(x-1)=36$
١٠ — ٤٨ $7(x-2)=49$
١٠ — ٤٩ $5(2x-3)=45$
١٠ — ٥٠ $3(5x-5)=45$
١٠ — ٥١ $3(x+b)=15$
١٠ — ٥٢ $a(x+b)=2ab$
١٠ — ٥٣ $16=2(x+5)$
١٠ — ٥٤ $28=7(2x+2)$
١٠ — ٥٥ $5(6-2x)=-20$
١٠ — ٥٦ $8(9-6x)=-24$
١٠ — ٥٧ $3x+5=33-4x$
١٠ — ٥٨ $7x-6=3x+22$

١٠ — ٥٩ $12x=7x-3+4x$
١٠ — ٦٠ $9x+12-4x=57$
١٠ — ٦١ $8x-5=17-3x$
١٠ — ٦٢ $19-3x=14-8x$
١٠ — ٦٣ $5(x+1)=3x-1$
١٠ — ٦٤ $7x+3=9(x-5)$
١٠ — ٦٥ $cx=a-bx$
١٠ — ٦٦ $mx=a-2x$
١٠ — ٦٧ $ax-a=cx-c$
١٠ — ٦٨ $mx+5=nx+6$
١٠ — ٦٩ $ax-7=5x+8$
١٠ — ٧٠ $bx-b=dx-d$

### معادلات الكسور :

١٠ — ٧١ $\frac{x}{3}=7;\ \frac{x}{2}=9$
١٠ — ٧٢ $\frac{x}{2}=7;\ \frac{x}{18}=0{,}42$
١٠ — ٧٣ $\frac{x}{b}=c;\ \frac{x}{n}=1$
١٠ — ٧٤ $\frac{x}{a}=b;\ \frac{x}{m}=1$
١٠ — ٧٥ $\frac{4x}{10}=6;\ \frac{3x}{12}=9$

١٠ — ٧٦ $\frac{3x}{4}=6;\ \frac{8x}{12}=2$
١٠ — ٧٧ $\frac{18}{x}=3;\ \frac{2}{x}=5$
١٠ — ٧٨ $\frac{4}{x}=1{,}5;\ \frac{3}{x}=9$
١٠ — ٧٩ $\frac{cde}{x}=ce$
١٠ — ٨٠ $\frac{svt}{x}=vs$

مثال (٥) :

$\frac{x}{4}-b=a$
$\frac{x}{4}=a+b$
$x=4(a+b)$
$\underline{x=4\,a+4b}$

مثال (٦) :

$\frac{28}{x}+3=10$
$\frac{28}{x}=10-3=7$
$28=x\cdot 7$
$\underline{x=28\div 7=4}$

١٠ — ٨١ $\frac{x}{3}+4=10$
١٠ — ٨٢ $\frac{x}{5}-20=30$
١٠ — ٨٣ $\frac{2x}{7}+6=12$
١٠ — ٨٤ $\frac{3x}{5}-7=23$
١٠ — ٨٥ $\frac{5x}{4}-3=17$

١٠ — ٨٦ $\frac{3x}{5}+8=23$
١٠ — ٨٧ $\frac{32}{x}+4=12$
١٠ — ٨٨ $\frac{45}{x}+3=18$
١٠ — ٨٩ $\frac{75}{6x}+2=7$
١٠ — ٩٠ $\frac{72}{9x}+5=13$

### التناسبات :

١٠ — ٩١ $4:5=12:x$
١٠ — ٩٢ $6:5=18:x$
١٠ — ٩٣ $3:8=x:12$
١٠ — ٩٤ $2{,}8:7=x:10$
١٠ — ٩٥ $0{,}42:x=0{,}7:3{,}5$
١٠ — ٩٦ $28:x=7:5$
١٠ — ٩٧ $x:38=15:19$
١٠ — ٩٨ $x:24=116:87$
١٠ — ٩٩ $100:x=25:3$
١٠ — ١٠٠ $x:100=3:5$
١٠ — ١٠١ $1:20=x:5$

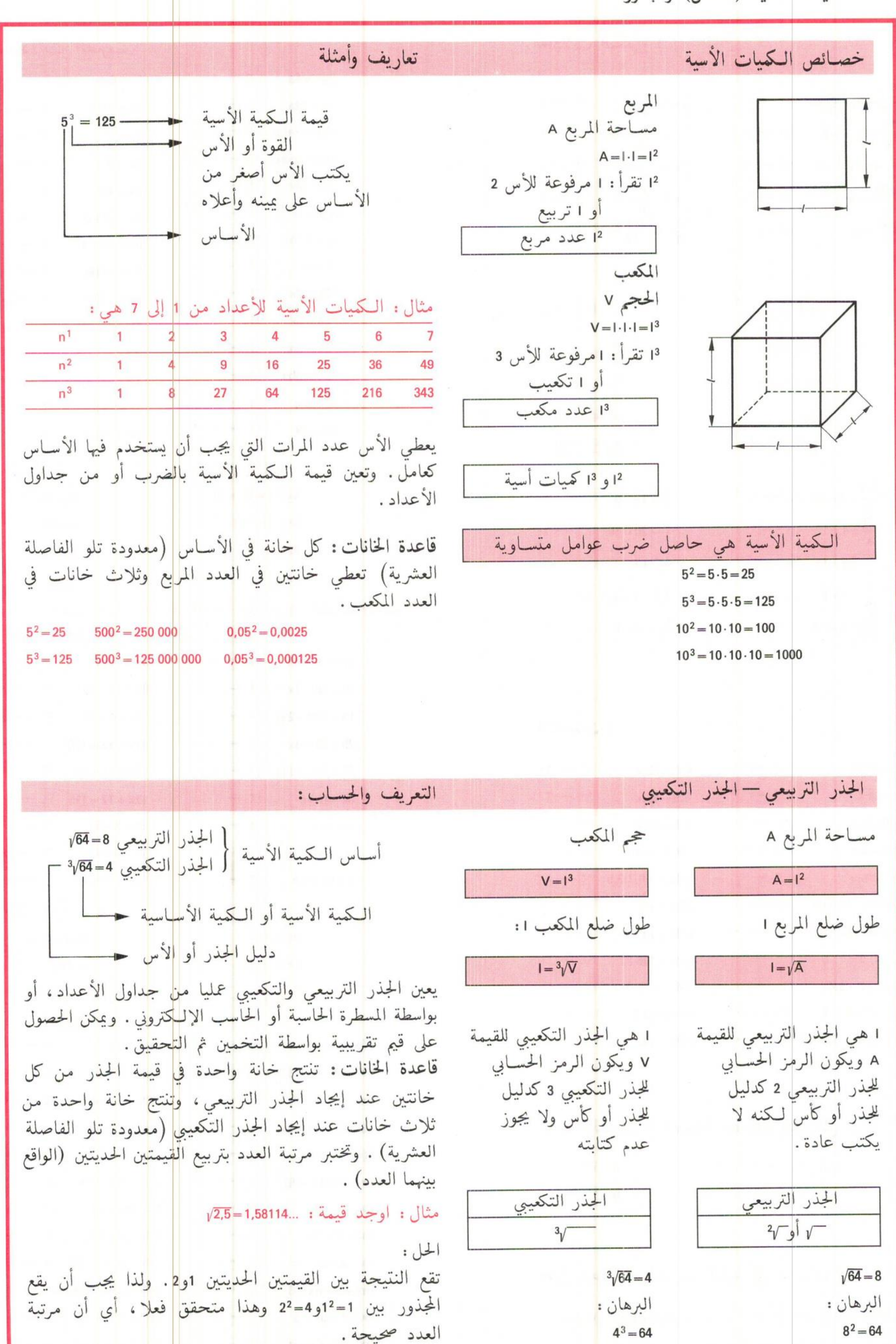
١٠ — ١٠٢ $1:x=2:15$
١٠ — ١٠٣ $3:a=6:x$
١٠ — ١٠٤ $x:20=b:5$
١٠ — ١٠٥ $10:x=4:a$
١٠ — ١٠٦ $5:b=15:x$
١٠ — ١٠٧ $3b:7cd=6x:14cd$
١٠ — ١٠٨ $3ac:4c=5ax:12d$
١٠ — ١٠٩ $(x-2):5=1:10$
١٠ — ١١٠ $(1+x):2=3:4$
١٠ — ١١١ $(x+1):7=3:14$
١٠ — ١١٢ $(x-1):9=5:3$

أوجد بالتبديل في الصيغة $a:b=c:d$ قيمة كل من :

١٠ — ١١٣ a
١٠ — ١١٤ b
١٠ — ١١٥ c
١٠ — ١١٦ d

حوّل معادلات الضرب التالية إلى تناسبات :

١٠ — ١١٧ $5\cdot a=8\cdot b$
١٠ — ١١٨ $P\cdot a=Q\cdot b$



## خصائص الكميات الأسية

**المربع**

مساحة المربع A

$A = l \cdot l = l^2$

$l^2$ تقرأ : l مرفوعة للأس 2

أو l تربيع

| $l^2$ عدد مربع |
|---|

**المكعب**

**الحجم** V

$V = l \cdot l \cdot l = l^3$

$l^3$ تقرأ : l مرفوعة للأس 3

أو l تكعيب

| $l^3$ عدد مكعب |
|---|

| $l^2$ و $l^3$ كميات أسية |
|---|

| الكمية الأسية هي حاصل ضرب عوامل متساوية |
|---|

$5^2 = 5 \cdot 5 = 25$

$5^3 = 5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$

$10^2 = 10 \cdot 10 = 100$

$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$

## تعاريف وأمثلة

$5^3 = 125$

- قيمة الكمية الأسية
- القوة أو الأس
- يكتب الأس أصغر من الأساس على يمينه وأعلاه
- الأساس

مثال : الكميات الأسية للأعداد من 1 إلى 7 هي :

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $n^1$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $n^2$ | 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 |
| $n^3$ | 1 | 8 | 27 | 64 | 125 | 216 | 343 |

يعطي الأس عدد المرات التي يجب أن يستخدم فيها الأساس كعامل. وتعين قيمة الكمية الأسية بالضرب أو من جداول الأعداد.

**قاعدة الخانات :** كل خانة في الأساس (معدودة تلو الفاصلة العشرية) تعطي خانتين في العدد المربع وثلاث خانات في العدد المكعب.

$5^2 = 25$ $500^2 = 250\,000$ $0{,}05^2 = 0{,}0025$

$5^3 = 125$ $500^3 = 125\,000\,000$ $0{,}05^3 = 0{,}000125$

## الجذر التربيعي — الجذر التكعيبي

مساحة المربع A

| $A = l^2$ |
|---|

طول ضلع المربع l

| $l = \sqrt{A}$ |
|---|

l هي الجذر التربيعي للقيمة A ويكون الرمز الحسابي للجذر التربيعي 2 كدليل للجذر أو كأس لكنه لا يكتب عادة.

| الجذر التربيعي |
|---|
| $\sqrt[2]{\phantom{x}}$ أو $\sqrt{\phantom{x}}$ |

$\sqrt{64} = 8$

البرهان :

$8^2 = 64$

حجم المكعب

| $V = l^3$ |
|---|

طول ضلع المكعب l :

| $l = \sqrt[3]{V}$ |
|---|

l هي الجذر التكعيبي للقيمة V ويكون الرمز الحسابي للجذر التكعيبي 3 كدليل للجذر أو كأس ولا يجوز عدم كتابته

| الجذر التكعيبي |
|---|
| $\sqrt[3]{\phantom{x}}$ |

$\sqrt[3]{64} = 4$

البرهان :

$4^3 = 64$

## التعريف والحساب :

أساس الكمية الأسية { الجذر التربيعي $\sqrt{64} = 8$ ، الجذر التكعيبي $\sqrt[3]{64} = 4$ }

- الكمية الأسية أو الكمية الأساسية
- دليل الجذر أو الأس

يعين الجذر التربيعي والتكعيبي عمليا من جداول الأعداد، أو بواسطة المسطرة الحاسبة أو الحاسب الإلكتروني. ويمكن الحصول على قيم تقريبية بواسطة التخمين ثم التحقيق.

**قاعدة الخانات :** تنتج خانة واحدة في قيمة الجذر من كل خانتين عند إيجاد الجذر التربيعي، وتنتج خانة واحدة من ثلاث خانات عند إيجاد الجذر التكعيبي (معدودة تلو الفاصلة العشرية). وتختبر مرتبة العدد بتربيع القيمتين الحديتين (الواقع بينهما العدد).

مثال : اوجد قيمة : $\sqrt{2{,}5} = 1{,}58114...$

الحل :

تقع النتيجة بين القيمتين الحديتين 1و2. ولذا يجب أن يقع المجذور بين $1 = 1^2$ و$4 = 2^2$ وهذا متحقق فعلا، أي أن مرتبة العدد صحيحة.

## تمرينات

عين $n^2$ للعدد n باستخدام جداول الأعداد

مثال (١) : $n=139$

الحل : (يقع العدد 139 بين 1 و 1000) وهي حدود الأعداد الواردة بالجداول .

ابحث تحت n عن العدد 139 . وعلى يمينه اقرأ النتيجة تحت $n^2$ في كتاب الجداول :

$n^2=19\,321$

مثال (٢) : $n=1394$ (عدد ذو أربع خانات)

تحتوي الجداول على أعداد ذات ثلاث خانات فقط .

الحل :

يحول العدد إلى :

$n\approx 139\cdot 10$

$n^2\approx 139^2\cdot 10^2$

القيمة من الجداول :

$139^2=19\,321$

$n^2\approx 19321\cdot 100\approx 1932100$

مثال (٣) : $n=1{,}39$ (عدد عشري)

الحل : تحتوي الجداول على أعداد صحيحة فقط .

يحول العدد إلى :

$n=139\div 100$

$n^2=139^2\div 100^2$

القيمة من الجداول :

$139^2=19\,321$

$n^2=19321\div 10\,000=1{,}9321$

تمرينات

١١ - ١ اوجد قيمة $n^2$ :

أ) $n=13;\ 43;\ 78;\ 277;\ 449;\ 781$

ب) $n=14;\ 45;\ 79;\ 377;\ 650;\ 912$

ج) $n=7{,}5;\ 21{,}3;\ 0{,}7;\ 0{,}06;\ 0{,}23;\ 0{,}011$

د) $n=8{,}5;\ 26{,}9;\ 0{,}9;\ 0{,}04;\ 0{,}17;\ 0{,}021$

١١ - ٢ اوجد قيمة $n^2$ ومربع القيمتين الحديتين الواقع بينهما العدد (مثال تقع $139^2$ بين $10\,000=100^2$ و $40\,000=200^2$)

أ) $n=6{,}4;\ 10{,}5;\ 0{,}537;\ 4350$

ب) $n=8{,}77;\ 27{,}7;\ 0{,}055;\ 7220$

ج) $n=7{,}7;\ 12{,}6;\ 0{,}183;\ 5650$

د) $n=9{,}34;\ 33{,}4;\ 0{,}045;\ 6800$

**اوجد الجذر التربيعي للعدد n باستخدام جداول الأعداد .**

مثال (١) : $n=139$

الحل : (139 تقع بين 1 و 1 000)

ابحث تحت n عن العدد 139 . وعلى يمينه اقرا النتيجة تحت $\sqrt{n}$ :

$\sqrt{n}=11{,}7898$

مثال (٢) : $n=1{,}39$ (عدد عشري)

الحل : تحتوي الجداول على أعداد صحيحة فقط، لذا يحوّل العدد إلى : $n=139\div 100$

$\sqrt{n}=\sqrt{139}\div\sqrt{100}$

القيمة من الجداول : $\sqrt{139}=11{,}7898$

$\sqrt{n}=11{,}7898\div 10=1{,}17898$

مثال (٣) : اوجد جذر n

$n=1394$ (عدد ذو أربع خانات)

الحل : تحتوي الجداول على أعداد ذات ثلاث خانات فقط لذا يحوّل العدد إلى : $n=13{,}94\cdot 100\approx 14\cdot 100$

$\sqrt{n}\approx\sqrt{14}\cdot\sqrt{100}$

القيمة من الجداول : $\sqrt{14}=3{,}7417$

$\sqrt{n}\approx 3{,}7\cdot 10\approx 37$

ملاحظة : النتيجة غير دقيقة !

طريقة أخرى أدق : $n=1394$ ، بضرب الطرفين في 100 ينتج $n\cdot 100=139\,400$ وبالبحث في خانة مربع الأعداد بالجداول نجد أن أقرب رقم للعدد 139 400 هو 139 129 بإيجاد قيمة n المقابلة في خانة الأعداد الصحيحة نجد أنها 373 . وحيث أننا ضربنا في البداية العدد في 100 لذا نقسم العدد الناتج 373 على 10

$\sqrt{n}=\frac{373}{10}=37{,}3$

١١ - ٣ اوجد الجذر التربيعي للقيم n واختبر النتيجة بتربيع القيمتين الحديتين الواقع بينهما العدد $(LV_L^2<n<LV_u^2)$ (حيث : القيمة الحدية العليا $=LV_u$ ، والقيمة الحدية السفلى $=LV_L$)

أ) $n=6;\ 60;\ 355;\ 3500;\ 6{,}3$

ب) $n=7;\ 70;\ 478;\ 4780;\ 7{,}5$

ج) $n=0{,}6;\ 0{,}85;\ 0{,}06;\ 0{,}085$

د) $n=0{,}7;\ 0{,}93;\ 0{,}07;\ 0{,}093$

و) $n=4650;\ 35{,}75;\ 27{,}95;\ 7855$

هـ) $n=5620;\ 48{,}62;\ 45{,}36;\ 8495$

ز) $n=72400;\ 654\,500;\ 95\,150;\ 936\,300$

١١ - ٤ احسب طول ضلع المربع الذي مساحته :

أ) $1156\ mm^2$ ب) $2401\ cm^2$ ج) $7396\ dm^2$ د) $21316\ m^2$

**ايجاد الجذر التربيعي على خطوات :**

(كل خانتين تلو الفاصلة العشرية تعطي خانة واحدة في النتيجة)

$\sqrt{1394}=37{,}34$

```
9
 494 ÷ 6  [7]
 469
  2500 ÷ 74  [3]
  2229
   27100 ÷ 746  □
```

(١) يوضع جذر الخانتين الأولى والثانية في النتيجة .
(٢) يطرح مربع العدد الذي وضع في النتيجة من الخانتين .
(٣) تسقط الخانتان التاليتان بجوار باقي الطرح .
(٤) يُقسم على (ضعف النتيجة + خانة فارغة) .
(٥) يوضع خارج القسمة في كل من النتيجة والخانة الفارغة .
(٦) يطرح حاصل ضرب العددين .
(٧) كرر العمليات (٣) و (٤) و (٥) و (٦) وأضف صفرين عند الضرورة .

## الكميات الأُسّية للعشرة لاختصار الأعداد الكبيرة

| بادئة الوحدة | | طريقة كتابة الكمية الأسية (مضروبة في) | القيمة (مضروبة في) | عدد خانات إزاحة الفاصلة العشرية |
|---|---|---|---|---|
| تيرا | T = Tera – | $10^{12}$ | 1 000 000 000 000 | ⑫→ |
| جيجا | G = Giga – | $10^{9}$ | 1 000 000 000 | ⑨→ |
| ميجا | M = Mega – | $10^{6}$ | 1 000 000 | ⑥→ |
| كيلو | k = Kilo – | $10^{3}$ | 1 000 | ③→ |
| هكتو | h = Hecto – | $10^{2}$ | 100 | ②→ |
| ديكا | da = Deca – | $10^{1}$ | 10 | ①→ |
| ديسي | d = Deci – | $10^{-1}$ | 0,1 | ←① |
| سنتي | c = Centi – | $10^{-2}$ | 0,01 | ←② |
| ملي | m = Milli – | $10^{-3}$ | 0,001 | ←③ |
| ميكرو | µ = Micro – | $10^{-6}$ | 0,000 001 | ←⑥ |
| نانو | n = Nano – | $10^{-9}$ | 0,000 000 001 | ←⑨ |
| بيكو | p = Pico – | $10^{-12}$ | 0,000 000 000 001 | ←⑫ |

مثال (١) : قدرة محطة لتوليد الكهرباء هي : $500\ MW = 500 \cdot 10^6\ W = 500 \cdot 1\ 000\ 000\ W = 500\ 000\ 000\ W$

كتلة الإلكترون هي : $0{,}91 \cdot 10^{-27} g = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 91\ g$

## معادلات تحتوي على كميات أسية

### أمثلة للحساب بالكميات الأسية

(١) $5a^2 + 3a^2 = 8a^2$ (٢) $5a^2 - 3a^2 = 2a^2$

(٣) $a^2 \cdot a^3 = a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^5 = a^{2+3}$

(٤) $(a^2)^3 = (a \cdot a)^3 = a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^6 = a^{2 \cdot 3}$

(٥) $\frac{a^5}{a^3} = \frac{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a}{a \cdot a \cdot a} = a^2 = a^{5-3}$

(٦) $a^3 \cdot b^3 = (a \cdot b)^3$ (٧) $(a \cdot b)^3 = a^3 \cdot b^3$

(٨) $\frac{a^3}{b^3} = (\frac{a}{b})^3$ (٩) $(\frac{a}{b})^3 = \frac{a^3}{b^3}$

### التبديل في معادلات الكميات الأسية

مثال (٢) :

$9x^2 + 9 = 90$

الحل :

(١) $9x^2 = 90 - 9$

(٢) $9x^2 = 81$

(٣) $x^2 = \frac{81}{9} = 9$

(٤) $\sqrt{x^2} = \sqrt{9}$

(٥) $\underline{x = 3}$

مثال (٣) :

$A = 0{,}785 \cdot d^2$

الحل :

(١) $0{,}785 \cdot d^2 = A$

(٢) $d^2 = \frac{A}{0{,}785}$

(٣) $\sqrt{d^2} = \sqrt{\frac{A}{0{,}785}}$

(٤) $\underline{d = \sqrt{\frac{A}{0{,}785}}}$

قاعدة : يستمر التبديل إلى أن يصبح المجهول كمية أسية في الطرف الأيسر بمفرده ، وعندئذ يؤخذ الجذر للطرفين ويختصر .

## معادلات تحتوي على جذور

### أمثلة للحساب بالجذور

(١) $3\sqrt{a} + 2\sqrt{a} = 5\sqrt{a}$ (٢) $5\sqrt{a} - 3\sqrt{a} = 2\sqrt{a}$

(٣) $\sqrt{a^2} = a;$ (٤) $(\sqrt{a})^2 = a;$

(٥) $\sqrt[3]{a^3} = a$ (٦) $\sqrt{a^4} = \sqrt{a^2 \cdot a^2} = \sqrt{a^2} \cdot \sqrt{a^2} = a \cdot a = a^2$

(٧) $\sqrt{a^3} = \sqrt{a^2 \cdot a} = \sqrt{a^2} \cdot \sqrt{a} = a \cdot \sqrt{a}$

(٨) $\sqrt{a^2 \cdot b^2} = \sqrt{a^2} \cdot \sqrt{b^2} = a \cdot b$ (٩) $\sqrt{a \cdot b^2} = b\sqrt{a}$

(١٠) $\sqrt{\frac{a^2}{b^2}} = \frac{\sqrt{a^2}}{\sqrt{b^2}} = \frac{a}{b}$ (١١) $\sqrt{\frac{a}{b^2}} = \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b^2}} = \frac{\sqrt{a}}{b}$

### التبديل في معادلات الجذور

مثال (٤) :

$\sqrt{3x} - 5 = 7$

الحل :

(١) $\sqrt{3x} = 7 + 5 = 12$

(٢) $(\sqrt{3x})^2 = 12^2$

(٣) $3x = 144$

(٤) $x = \frac{144}{3} = \underline{48}$

مثال (٥) :

$\sqrt{5x} + 16 = 14$

الحل :

(١) $(\sqrt{5x} + 16)^2 = 14^2$

(٢) $5x + 16 = 196$

(٣) $5x = 180$

(٤) $x = \frac{180}{5} = \underline{36}$

قاعدة : يستمر التبديل إلى أن يصبح المجهول كمية جذرية في الطرف الأيسر بمفرده وعندئذ يرفع الطرفان لأس الجذر ويختصر .

تمرينات

## الكميات الأسية والجذور

**احسب قيم الكميات الأسية :**

١٢ — ١ $2^3;\ 3^3;\ 4^3;\ 5^3$

١٢ — ٢ $2^4;\ 3^4;\ 4^4;\ 5^4$

١٢ — ٣ $a \cdot a^2 + a \cdot a^2$

١٢ — ٤ $m \cdot m^2 + m \cdot m^2$

١٢ — ٥ $4a^2 + 3a^2$

١٢ — ٦ $4a^2 - 3a^2$

١٢ — ٧ $(6a)^2$

١٢ — ٨ $(5b)^2$

١٢ — ٩ $6c^2 \cdot 2c^3$

١٢ — ١٠ $5n^2 \cdot 3n^4$

١٢ — ١١ $(5 \cdot a^2)^3$

١٢ — ١٢ $(3b^3)^2$

١٢ — ١٣ $4^3 \cdot 5^3$

١٢ — ١٤ $2^4 \cdot 3^4$

١٢ — ١٥ $5^5 \div 5^2$

١٢ — ١٦ $6^6 \div 6^4$

**احسب قيم الجذور :**

١٢ — ١٧ $3\sqrt{25} + 4\sqrt{25}$

١٢ — ١٨ $7\sqrt{49} - 3\sqrt{49}$

١٢ — ١٩ $\sqrt{5^2} = ;\ (\sqrt{14})^2$

١٢ — ٢٠ $\sqrt{33^2} = ;\ (\sqrt{7})^2$

١٢ — ٢١ $\sqrt{9 \cdot 121}$

١٢ — ٢٢ $\sqrt{36 \cdot 169}$

١٢ — ٢٣ $\sqrt{5 \cdot 25}$

١٢ — ٢٤ $\sqrt{7 \cdot 49}$

١٢ — ٢٥ $\sqrt{3^3} = ;\ \sqrt{5^3}$

١٢ — ٢٦ $\sqrt{6^3} = ;\ \sqrt{25^4}$

١٢ — ٢٧ $\sqrt{\frac{5}{9}} = ;\ \sqrt{\frac{3}{16}}$

١٢ — ٢٨ $\sqrt{\frac{7}{25}} = ;\ \sqrt{\frac{8}{36}}$

**اوجد قيمة x :**

١٢ — ٢٩ $15x^2 + 12 = 72$

١٢ — ٣٠ $11x^2 - 17 = 82$

١٢ — ٣١ $7x^2 = 360 - 3x^2$

١٢ — ٣٢ $7x^2 = 100 + 3x^2$

١٢ — ٣٣ $5x \cdot 3x = 240$

١٢ — ٣٤ $4x \cdot 7x = 700$

١٢ — ٣٥ $5x \cdot 3x^2 = 405$

١٢ — ٣٦ $3x^4 = 192x$

١٢ — ٣٧ $(5x)^2 + 27 = 1252$

١٢ — ٣٨ $(3x)^2 - 33 = 192$

١٢ — ٣٩ $3 \cdot x^5 = 12 \cdot x^3$

١٢ — ٤٠ $6x^7 = 294x^5$

١٢ — ٤١ $x^2 + 600 = 7^2 \cdot 5^2$

١٢ — ٤٢ $2x^2 - 26 = 2^3 \cdot 3^3$

١٢ — ٤٣ $(x^2)^2 + 5 = 21$

١٢ — ٤٤ $(3x^2)^2 + 21 = 750$

١٢ — ٤٥ $\sqrt{x} = 7$

١٢ — ٤٦ $\sqrt{x} = 5$

١٢ — ٤٧ $\sqrt{x} - 5 = 9$

١٢ — ٤٨ $\sqrt{x} + 4 = 17$

١٢ — ٤٩ $\sqrt{3}x = 6$

١٢ — ٥٠ $\sqrt{5}x = 15$

١٢ — ٥١ $\sqrt{4}x - 15 = 1$

١٢ — ٥٢ $\sqrt{8}x + 5 = 17$

١٢ — ٥٣ $2\sqrt{x} = 6$

١٢ — ٥٤ $3\sqrt{2}x = 12$

١٢ — ٥٥ $\sqrt{6x + 16} = 8$

١٢ — ٥٦ $\sqrt{7x - 10} = 9$

١٢ — ٥٧ $\sqrt{x - m} = a$

١٢ — ٥٨ $\sqrt{x + b} = 3b$

## قوى العشرة (الكميات الأسية للعشرة)

**اكتب كأعداد عشرية :**

١٢ — ٥٩ $17 \cdot 10^{-8};\ 625 \cdot 10^{-4}$

١٢ — ٦٠ $3{,}6 \cdot 10^{-6};\ 1{,}5 \cdot 10^{-3}$

١٢ — ٦١ $27{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot 10^5$

١٢ — ٦٢ $0{,}38 \cdot 10^2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3$

**اكتب بطريقة مختصرة :**

١٢ — ٦٣ 937 000 000 000 000

١٢ — ٦٤ 0,000 000 004 44

١٢ — ٦٥ $0{,}003 \cdot 10^{10} \cdot 10^{-7}$

١٢ — ٦٦ $85 \cdot 10^{-3} + 0{,}02 \cdot 10^2$

## التبديل في الصيغ الرياضية

مراجعة مختصرة لقواعد التبديل

(١) تتغير إشارة الكمية المنقولة من طرف إلى آخر .

(٢) في الحساب المختلط يجرى التبديل بوضع الحدود المتشابهة معا .

(٣) يجب ألا تظهر الكمية المطلوب إيجادها في مقام كسر وألا تسبقها إشارة سالبة .

(٤) يجب أن تكون الكمية المطلوب إيجادها بمفردها ، وإذا ما وجدت في الطرف الأيمن تبدّل الأطراف .

(٥) عند وجود $x^2$ يؤخذ الجذر للطرفين وعند وجود $\sqrt{x}$ يربع الطرفان .

**بتبديل الصيغ الرياضية اوجد قيمة :**

١٢ — ٦٧ $A = \frac{g \cdot h}{2}$ من h

١٢ — ٦٨ $R = R_1 + R_2 + R_3$ من $R_2$

١٢ — ٦٩ $V = \frac{\pi}{6} d^3$ من d

١٢ — ٧٠ $P = I^2 \cdot R$ من I

١٢ — ٧١ $U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\varkappa \cdot A}$ من I

١٢ — ٧٢ $P_2 = P_1 - V_1 - V_2$ من $V_2$

١٢ — ٧٣ $v = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{60}$ من n

١٢ — ٧٤ $U = E - I \cdot R$ من I

١٢ — ٧٥ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ من $N_1$

١٢ — ٧٦ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ من X

١٢ — ٧٧ $I = \frac{U}{R_1 + R_2}$ من $R_1$

١٢ — ٧٨ $W = U \cdot I \cdot t$ من t

١٢ — ٧٩ $d_m = \frac{D + d}{2}$ من D

١٢ — ٨٠ $v = s \div (t_2 - t_1)$ من $t_1$

## المتر كوحدة للطول

(١) **عند القياس تقارن** كميات مجهولة بكمية معلومة لنفس الوحدة. وتحدد الوحدات تبعا لمواصفات قياسية أو اتفاقيات دولية أو طبقا لنظام معين.

(٢) **المتر هو وحدة الطول** طبقا للنظام الدولي (SI) ، ويرمز له بالرمز (m) ويعادل 1 650 763,73 مرة مثل طول موجة الأشعة الحمراء البرتقالية للغاز الخامل الكريبتون في الفراغ.*

**لاحظ التحويلات التالية :**

(٣) **وحدة المساحات** هي المتر المربع ($m^2$)، وهي مساحة مربع طول ضلعه 1m .

وحدة الحجوم هي المتر المكعب ($m^3$) ، وهي حجم مكعب طول ضلعه 1m .

(٤) **مضاعفات وأجزاء الوحدات** – المضاعفات مثل الكيلومتر والأجزاء مثل الديسيمتر والسنتيمتر والمليمتر تأخذ بادئة للوحدة. انظر اللوحة 12 لكميات القوى للعشرة.

## تحويلات الوحدات $m^3$, $m^2$, $m$ :

$1\ m = 10\ dm$

$1\ m = 100\ cm$

$1\ m = 1000\ mm$

$1\ m^2 = 10 \cdot 10\ dm^2$

$1\ m^2 = 100 \cdot 100\ cm^2$

$1\ m^2 = 1000 \cdot 1000\ mm^2$

$1\ m^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10\ dm^3$

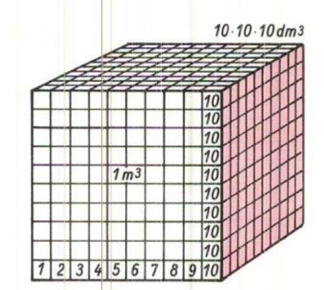
$1\ m^3 = 100 \cdot 100 \cdot 100\ cm^3$

$1\ m^3 = 1000 \cdot 1000 \cdot 1000\ mm^3$

1m = 10dm

10·10dm²

1m²




مثال : حوّل $120\ mm^3$ إلى $dm^3$

$120\ mm^3 = ?\ dm^3$

الحل :

(العدد المطلوب إيجاده أصغر لذا تزاح الفاصلة العشرية إلى اليسار)

$1\ dm = 100\ mm$

$1\ dm^3 = 100 \cdot 100 \cdot 100\ mm^3$

(تزاح الفاصلة العشرية بمقدار 2·3 أي 6 خانات إلى اليسار)

$120\ mm^3 = 0{,}000120\ dm^3$

## وحدات هامة أخرى

الحجوم في السوائل : 1 لتر = $1\ l = 1\ dm^3$

وحدة الحجوم الكبيرة في السوائل : 1 هكتولتر = $1\ hl = 100\ l$

مسح الأراضي : 1 هكتار = $100\ Ar\ (a) = 10\ 000\ m^2$

للبحوث والعلوم : 1 ميكرومتر = $1\ \mu m = 0{,}000\ 001\ m$

الملاحة البحرية والجوية : 1 ميل بحري = $1\ sm = 1852\ m$

في إنكلترا والولايات المتحدة الأمريكية : (انظر أسفل) $25{,}4\ mm = 1'' =$ 1 بوصة

في إنكلترا والولايات المتحدة الأمريكية : $36'' =$ 3 قدم (ft) = 1 ياردة (yd)

| بوصة (inch) | $^1/_8$ | $^1/_4$ | $^3/_8$ | $^1/_2$ | $^5/_8$ | $^3/_4$ | $^7/_8$ | 1 | $1\,^1/_2$ | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | 3,175 | 6,350 | 9,525 | 12,700 | 15,875 | 19,050 | 22,225 | 25,400 | 38,100 | 50,800 |

* النظام الخاص بوحدات القياس (ساري المفعول منذ ١٩٧٠/٧/٣م وعدِّل في ٦ يوليو ١٩٧٣م) . تنسب جميع الوحدات إلى الوحدات الأساسية المتفق عليها في النظام الدولي (SI) وهي : المتر والثانية والكيلوجرام والكلفن والأمبير والجُزَيء الغرامي والكانديلا .

كان المتر الأصلي سابقا قضيبا من معدن ثمين محفوظا في باريس .

## تمرينات

١٣ — ١ حوّل إلى متر (m) :

6,62 dm; 0,34 dm; 724 cm; 8,3 cm; 3 372 mm

١٣ — ٢ حوّل إلى ديسيمتر (dm) :

532 cm; 7,24 cm; 76 mm; 408 mm; 0,418 m

١٣ — ٣ حوّل إلى مليمتر (mm) :

.4,78 m; 0,347 m; 9,38 dm; 0,4 dm; 8,52 cm

١٣ — ٤ اوجد النتيجة بالسنتيمتر (cm) :

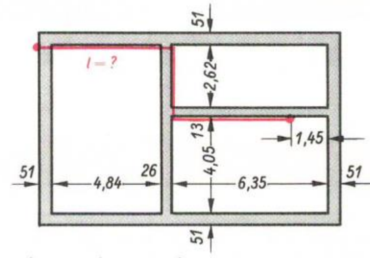
0,36 dm + 8,56 m + 732 mm − 3,26 dm − 0,49 m

١٣ — ٥ أكمل القيم الناقصة بالجدول :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| m | ? | 1,20 m | ? | ? | ? |
| dm | ? | ? | 25 dm | ? | ? |
| cm | 182 cm | ? | ? | ? | 0,2 cm |
| mm | ? | ? | ? | 0,5 mm | ? |

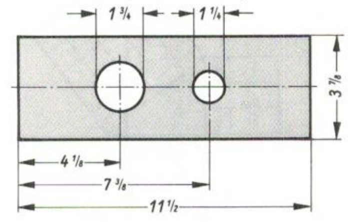
١٣ — ٦ يراد قطع قضبان طول كل منها 520 mm من قضيب من الفولاذ طوله 6,5 m ، احسب : أ) عدد القضبان بفرض أن الفاقد يبلغ 1,5 mm لكل قطعية بين كل قضيبين ، ب) طول القطعة الباقية .

١٣ — ٧ في الرسوم الإنشائية تعطى الأطوال الأقل من 1 m بالسنتيمتر ، والأطوال ابتداء من 1 m أو أكثر بالمتر . اوجد للمسقط الأفقي المبين : أ) الأبعاد الخارجية ، ب) الطول الأفقي للمسار المبين بالرسم .




١٣ — ٨ إذا كان القطر الخارجي لأنبوبة (ماسورة) من الفولاذ هو ″$3^3/_4$ اوجد قطرها بوحدة (mm) ؟

١٣ — ٩ حوّل الأبعاد التي على الرسم من البوصة إلى المليمتر :




مثال : اوجد قيمة 0,75 m$^2$ بالسنتيمتر المربع (cm$^2$) .

الحل :

(حيث أن العدد المطلوب إيجاده أكبر لذا تزاح الفاصلة العشرية إلى اليمين) .

1 m = 100 cm;

1 m$^2$ = 100 cm × 100 cm (أربع خانات إلى اليمين)

0,75m$^2$ = 7 500 cm$^2$

١٣ — ١٠ حوّل إلى مم٢ (mm$^2$) :

أ) 47,05 cm$^2$ ب) 0,09 dm$^2$ ج) 0,008 m$^2$

د) 486,06 cm$^2$ هـ) 23,48 dm$^2$ و) 4,55 m$^2$

١٣ — ١١ حوّل إلى سم٢ (cm$^2$) :

أ) 897,3 mm$^2$ ب) 3,8485 dm$^2$ ج) 0,008 m$^2$

د) 69,785 mm$^2$ هـ) 36,0998 dm$^2$ و) 4,036 m$^2$

١٣ — ١٢ حوّل إلى دسم٢ (dm$^2$) :

أ) 24,80 mm$^2$ ب) 384,05 cm$^2$ ج) 0,925 m$^2$

د) 0,8 mm$^2$ هـ) 2,75 cm$^2$ و) 96,345 m$^2$

١٣ — ١٣ حوّل إلى م٢ (m$^2$) :

أ) 38 403 mm$^2$ ب) 684 923 cm$^2$ ج) 84,93′ dm$^2$

د) 896,4 mm$^2$ هـ) 142,58 cm$^2$ و) 0,0043 dm$^2$

١٣ — ١٤ حوّل إلى هكتار (ha) :

أ) 8793 456 m$^2$ ب) 6 289,8 a ج) 142,58 km$^2$

د) 543,50 m$^2$ هـ) 9,08 a و) 0,086 km$^2$

١٣ — ١٥ احسب المقادير الآتية بوحدات القيمة الأخيرة بكل مسألة :

أ) 4,40 dm$^2$ + 0,46 m$^2$ + 45,75 dm$^2$ + 150 m$^2$

ب) 0,40 dm$^2$ + 0,75 dm$^2$ + 45 cm$^2$ + 400 mm$^2$

ج) 40 m$^2$ − 13,25 m$^2$ + 46 dm$^2$ + 750 cm$^2$

د) 2,05 dm$^2$ − 1,95 dm$^2$ + 42 cm$^2$ + 0,4 dm$^2$

١٣ - ١٦ احسب المقادير الآتية بوحدات القيمة الأولى بكل مسألة :

أ) 4,05 dm$^2$·5 + 17,05 dm$^2$

ب) 9,33 cm$^2$ ÷ 3 − 0,75 cm$^2$

ج) 150 m$^2$ ÷ 50 + 7,5 m$^2$ − 8,05 m$^2$

د) 705 cm$^2$ ÷ 3 − 25,50 cm$^2$ + 1,5 dm$^2$

١٣ - ١٧ حوّل إلى مم ٣ (mm$^3$) :

أ) 485 cm$^3$ ب) 92,721 dm$^3$ ج) 0,0075 m$^3$

د) 928534 cm$^3$ هـ) 0,4 dm$^3$ و) 2,739 m$^3$

١٣ - ١٨ حوّل إلى سم٣ (cm$^3$) :

أ) 8 760 mm$^3$ ب) 486 dm$^3$ ج) 0,965 m$^3$

د) 93,86 mm$^3$ هـ) 8,35 dm$^3$ و) 0,042 m$^3$

١٣ - ١٩ حوّل إلى دسم ٣ (dm$^3$) :

أ) 4865432 mm$^3$ ب) 9621 cm$^3$ ج) 0,956 m$^3$

د) 28635 mm$^3$ هـ) 48,3 cm$^3$ و) 24,75 m$^3$

١٣ - ٢٠ حوّل إلى م٣ (m$^3$) :

أ) 8653279 mm$^3$ ب) 9621 cm$^3$ ج) 8,07 dm$^3$

د) 68253429 mm$^3$ هـ) 5,8 cm$^3$ و) 24,325 dm$^3$

١٣ - ٢١ حوّل إلى لتر (l) :

أ) 4 000 mm$^3$ ب) 500 cm$^3$ ج) 50 dm$^3$ د) 0,2 m$^3$

هـ) 0,825 hl و) 1660 cm$^3$

١٣ - ٢٢ احسب المقادير الآتية بالوحدات المبينة :

أ) 0,5 dm$^3$ + 600 cm$^3$ + 0,004 m$^3$ = ...dm$^3$

ب) 14 dm$^3$ + 41 m$^3$ + 4 dm$^3$ = ... dm$^3$

ج) 170 mm$^3$ + 4 cm$^3$ + 0,8 dm$^3$ = ... cm$^3$

د) 0,4 hl + 15 l + 500 cm$^3$ = ... l

هـ) 0,6 dm$^3$ − 240 cm$^3$ + 0,7 m$^3$ = ... dm$^3$

١٣ - ٢٣ احسب المقادير الآتية بالوحدات المبينة :

أ) 4,25 dm$^3$·0,4 + 0,4 m$^3$ = ... dm$^3$

ب) 20 cm$^3$·5 − 600 mm$^3$ = ... cm$^3$

ج) 0,75 m$^3$ ÷ 0,25 + 50 cm$^3$ = ... dm$^3$

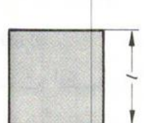
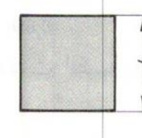
د) 315 l ÷ 15 + 0,3 hl = ... l

هـ) 345 l ÷ 5 − 16 l = ... l

## مساحة ومحيط الأشكال البسيطة

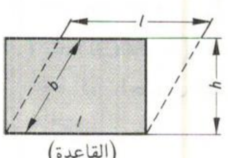
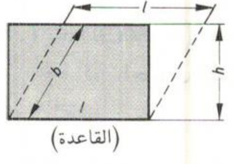
### المربع

| | |
|---|---|
| المساحة | $A = l^2$ |
| المحيط | $U = 4 \cdot l$ |

### المستطيل (متوازي الأضلاع)

| |
|---|
| $A = l \cdot h$ |
| $U = 2l + 2b$ |



### المثلث

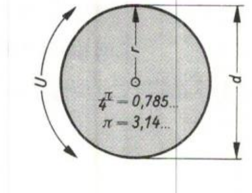
| |
|---|
| $A = \frac{l \cdot h}{2}$ |
| $U = l + b_1 + b_2$ |

### شبه المنحرف

| |
|---|
| $A = l_m \cdot h$ |
| $l_m = \frac{l_1 + l_2}{2}$ |

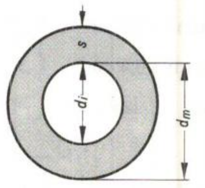
(خط المنتصف)

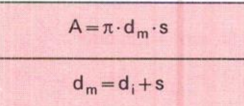
### الدائرة




| |
|---|
| $A = \frac{\pi}{4} d^2 = \pi r^2$ |
| $U = \pi \cdot d = 2\pi r$ |

### الحلقة المستديرة





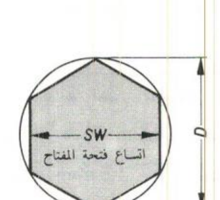
| |
|---|
| $A = \pi \cdot d_m \cdot s$ |
| $d_m = d_i + s$ |

### قطاع الدائرة

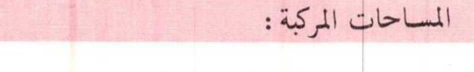


| |
|---|
| $\frac{S}{A} = \frac{\alpha}{360°}$ |
| $\frac{b}{U} = \frac{\alpha}{360°}$ |

### السدس المنتظم




| |
|---|
| $A = 0,866\ (SW)^2$ |
| $SW = 0,866\ D$ |



## المساحات المركبة :

تستخدم إحدى طرق الحساب التالية لحساب مساحات مركبة :

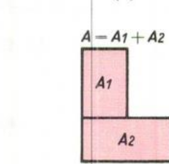
(١) بجمع مساحات جزئية معلومة

(٢) بطرح مساحات جزئية معلومة

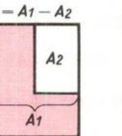
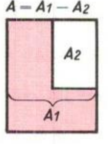
(٣) بضرب الطول المتوسط في العرض (إذا كان العرض ثابتا) .

مثال :

(١) $A = A_1 + A_2$



(٢) $A = A_1 - A_2$

(٣) $A = l_m \cdot b$

وباستعمال الأبعاد $l_1$ و $l_2$ و b يكون :

(١) $A_1 = (l_1 - b) \cdot b$ و $A_2 = l_2 \cdot b$

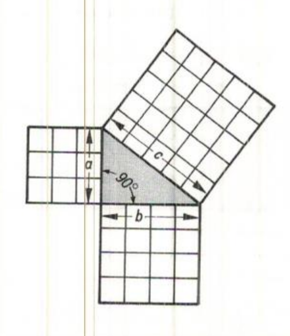
(٢) $A_1 = l_1 \cdot l_2$ و $A_2 = (l_1 - b) \cdot (l_2 - b)$

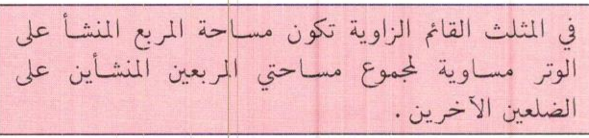
(٣) $l_m = (l_1 - 0,5\ b) + (l_2 - 0,5\ b)$

حيث $l_m$ هو الطول المتوسط

## نظرية فيثاغوراس :

يمكن حساب طول أي ضلع في مثلث قائم الزاوية بمعلومية طول الضلعين الآخرين طبقا لهذه النظرية .





في المثلث القائم الزاوية تكون مساحة المربع المنشأ على الوتر مساوية لمجموع مساحتي المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين .

وفي هذا المثال يكون :

$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$ $\qquad c^2 = a^2 + b^2$

$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{5^2 - 3^2} = 4$ $\qquad b^2 = c^2 - a^2$

$a = \sqrt{c^2 - b^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3$ $\qquad a^2 = c^2 - b^2$

تمرينات

١٤ — ١ إحسب المساحة A لسطح قلب مغنطيسي مربع الشكل بالوحدات $mm^2$ ، $cm^2$ ، $m^2$ إذا كان ضلع المربع :

أ) 15 mm  ب) 24 mm  ج) 36 mm  د) 45 mm

هـ) 56 mm

١٤ — ٢ إذا لزم 22 لوحا من الفيبر مستطيلة الشكل لعمل لوحة توزيع طبقا للأبعاد بالجدول الآتي ، فما مساحة الفيبر المطلوب بالأمتار المربعة إذا اضيف 8% – مقابل البقايا عديمة النفع – إلى المساحة الكلية للوحات المشغلة؟

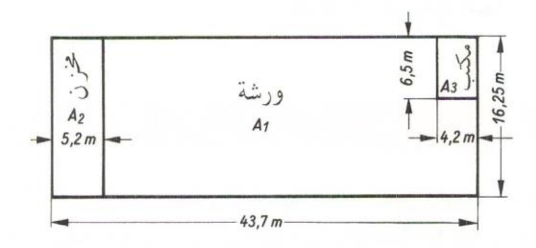
| اللوح | العدد | $l_1$ | $l_2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 350 mm | 250 mm |
| 2 | 2 | 0,62 m | 45 cm |
| 3 | 8 | 2,8 dm | 160 mm |

١٤ — ٣ احسب بالمليمتر قطر الدائرة الخارجية D لشكل سداسي اتساع مفتاحه :

أ) 8 mm  ب) 17 mm  ج) 32 mm  د) 65 mm

هـ) 95 mm

١٤ — ٤ احسب المساحة المتبقية للورشة بعد طرح مساحتي المكتب والمخزن . يهمل سمك الجدران :

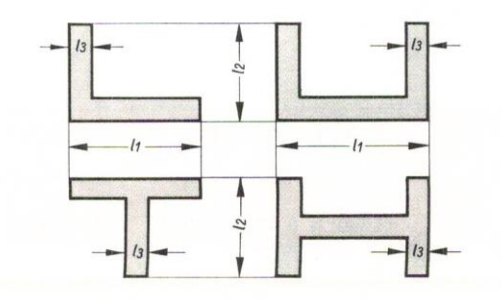



١٤ — ٥ يراد تغطية جدران حجرة معيشة مستطيلة الشكل (طولها 5,60 m وعرضها 4,20 m وارتفاعها 2,50 m) بورق حائط جديد وطلاؤها .

أ) أوجد مساحة أرضية حجرة المعيشة (تساوي مساحة الأرضية أو مساحة السقف) . ب) أوجد مساحة الجدران بعد طرح $6 \, m^2$ للأبواب والنوافذ . ج) أوجد طول سفل الحجرة بالمتر (يخصم 2 m مقابل فتحتي البابين)

١٤ — ٦ اوجد مساحة الأشكال التالية الموضّحة بالرسم :

| أبعاد المقطع | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| $l_1$ (mm) | 80 | 50 | 45 | 60 |
| $l_2$ (mm) | 40 | 40 | 30 | 60 |
| $l_3$ (mm) | 6 | 5 | 4 | 4 |




١٤ – ٧ أوجد مساحة مقطع سلك النحاس A بالمليمتر المربع إذا بلغ قطر السلك العاري :

أ) 1,8 mm  ب) 1,1 mm  ج) 0,8 mm  د) 0,5 mm

هـ) 0,2mm

الحل للجزء أ) :

$A = 0{,}785 \cdot d^2 = 0{,}785 \cdot 1{,}8 \text{ mm} \cdot 1{,}8 \text{ mm} = \underline{2{,}54 \text{mm}^2}$

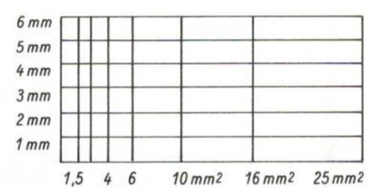
١٤ — ٨ احسب أقطار المقاطع للأسلاك القياسية الآتية :

أ) $1{,}5 \text{ mm}^2$  ب) $2{,}5 \text{ mm}^2$  ج) $4 \text{ mm}^2$  د) $6 \text{ mm}^2$

هـ) $10 \text{ mm}^2$  و) $16 \text{ mm}^2$  ز) $25 \text{ mm}^2$

دوّن النتائج في منحنى توضيحي .

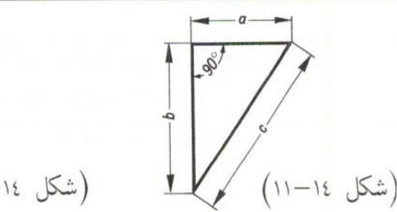
مقياس الرسم : (من مساحة المقطع) $1 \text{ cm} \triangleq 2 \text{ mm}^2$



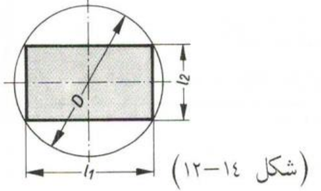

١٤ — ٩ يراد استبدال موصل قطره : أ) 2,6 mm ب) 3,2 mm ج) 4,4 mm بموصلين دائريَّين متساويين بحيث لا تتغير المساحة الكلية للمقطع . احسب قطر الموصِّل البديل .

١٤ — ١٠ احسب القيم الناقصة بالجدول لمساحات المقاطع المستعرضة ذات الشكل الحلقي الدائري ، ثم أوجد المساحة A لكل منها علما بأن المحيط المتوسط $U = \pi \cdot d_m$ والقطر الخارجي = $d_{ex}$ والقطر الداخلي = $d_i$ والقطر المتوسط = $d_m$ وسمك معدن الحلقة = s .

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_{ex}$ (mm) | 4 | ? | 55 | 75 | ? |
| $d_i$ (mm) | ? | 17 | 49 | ? | ? |
| $d_m$ (mm) | ? | ? | ? | 72 | 28 |
| s (mm) | 1 | 2,5 | ? | ? | 4 |




(شكل ١٤—١١)



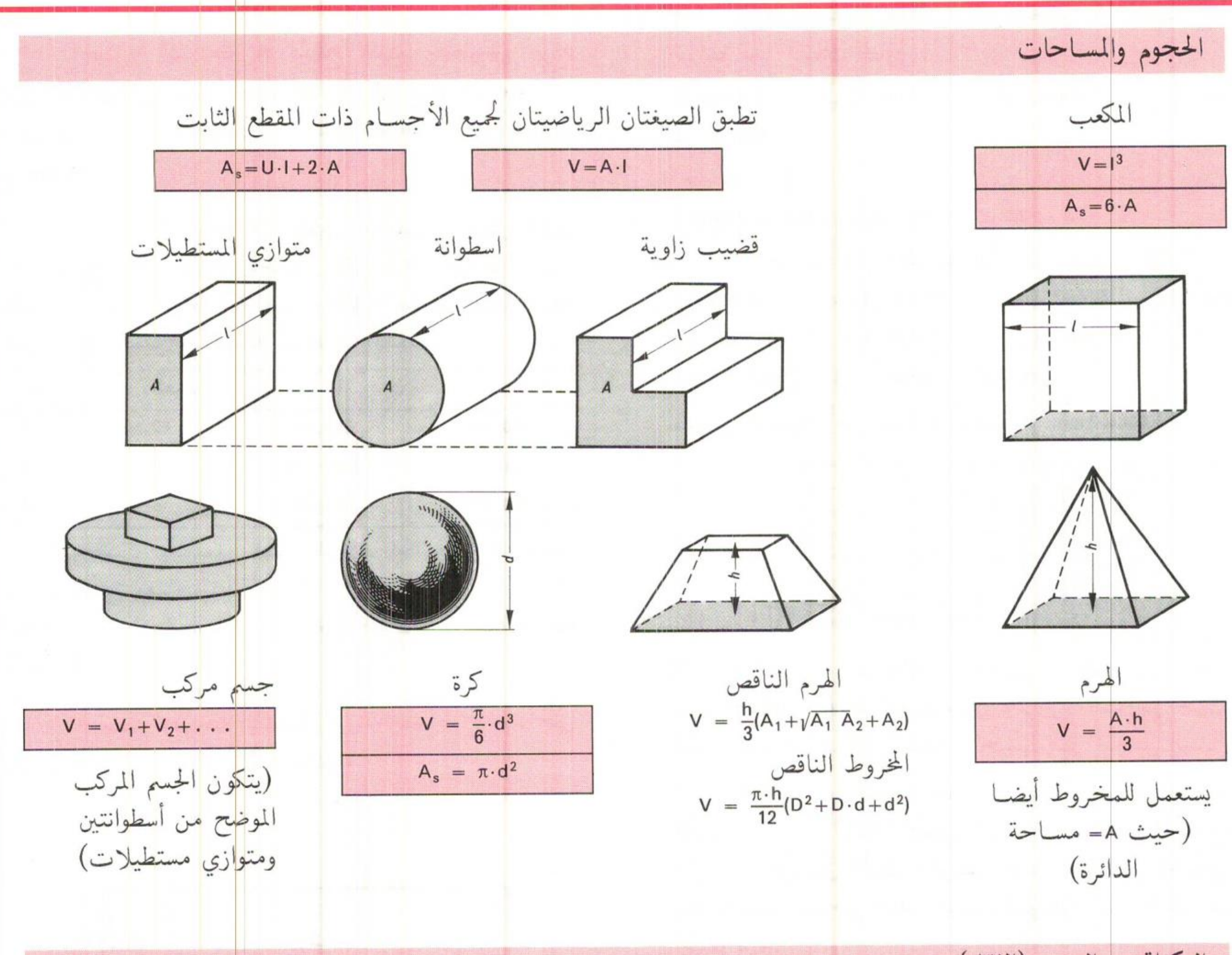

(شكل ١٤—١٢)

١٤ — ١١ احسب طول الوتر باستخدام نظرية فيثاغوراس ، والأبعاد التالية :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| a (mm) | 400 | 400 | 300 | 350 | 500 |
| b (mm) | 400 | 500 | 600 | 550 | 1000 |

١٤ — ١٢ احسب من معطيات الجدول الأبعاد الناقصة لقلوب مغنطيسية (انظر الشكل) .

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| $l_1$ (mm) | 30 | 15 | $l_1 = l_2$ | ? | ? |
| $l_2$ (mm) | 20 | 15 | ? | $l_1 = l_2$ | 22 |
| A ($cm^2$) | ? | ? | 6,25 | ? | ? |
| D (mm) | ? | ? | ? | 30 | 41 |




## الكتلة - الوزن (الثقل)

هناك فرق بين الوزن G والكتلة m (كمية المادة) لجسم ما . فبينما تكون الكتلة في أي مكان ثابتة ولا تتغير بتغير الموقع ، يتغير الوزن (الثقل) تبعا للبعد عن مركز الأرض . ففي وسط أوروبا تتساوى القيمة العددية لوزن قطعة ما بالوحدة (da N) وكتلتها بوحدة (kg) . لقياس القوة بالنيوتن (وأيضا الوزن) انظر اللوحة 18 .

### الكتلة m

| |
|---|
| الوحدة : 1 kg (كيلوجرام) هو وزن $1\ dm^3$ من الماء عند درجة حرارة 4° مئوية |
| 1 طن = 1 t = 1000 kg |
| 1 كيلو جرام = 1 kg = 1000 g |
| 1 جرام = 1 g = 1000 mg |
| $m(g) = V(cm^3) \cdot \varrho(g/cm^3)$ |

تعطي الكثافة ϱ (تنطق رو) كتلة المادة التي تشغل وحدة الحجوم . وحدة ϱ : $g/cm^3$ أو $kg/dm^3$ أو $t/m^3$ .

### الوزن (الثقل) G

| |
|---|
| الوحدة : 1 N هي القوة التي تعطي لكتلة 1 kg تسارعا قدره $1\ m/s^2$ . |
| 1 نيوتن = 1 N = 101,9 p |
| 1 ديكانيوتن = 1 daN = 1 kp ≈ 10 N |
| 1 كيلو بوند = 1 kp = 9,80665 N |
| $G(N) = V(cm^3) \cdot \gamma(N/cm^3)$ |

الوزن النوعي γ (تنطق جاما) يساوي خارج قسمة الوزن على وحدة الحجوم . وحدة γ : $N/cm^3$ أو $kN/dm^3$ أو $MN/m^3$ .

تحسب الأوزان في النقل وفي محاسبة المواد بالكيلوجرام من ($m = V \cdot \varrho$) .

ملاحظة :

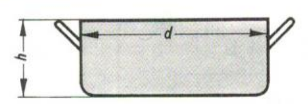
| | | |
|---|---|---|
| كثافة الفولاذ $\varrho = 7,85\ g/cm^3$<br>كثافة النحاس $\varrho = 8,9\ g/cm^3$ | سلك التوصيل : | $m(g) = A(mm^2) \cdot l(m) \cdot \varrho(g/cm^3)$ |
| كثافة الألومنيوم $\varrho = 2,7\ g/cm^3$ | ألواح معدنية : | $m(kg) = A(m^2) \cdot d(mm) \cdot \varrho(kg/dm^3)$ |

## تمرينات

١٥ - ١ ثلّاجة كهربائية أبعادها الداخلية هي :
العرض = 375 mm ، العمق = 305 mm ، الارتفاع = 525 mm .
أوجد حجم الثلاجة باللتر؟

١٥ — ٢ احسب جميع القيم الناقصة لأوعية طبخ كهربائية أبعادها الداخلية كما يلي :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| d (mm) | 160 | 200 | 240 | ? | ? |
| h (mm) | 140 | ? | 200 | 130 | 190 |
| V (l) | ? | 5,3 | ? | 4 | 15,3 |




الحل للجزء (د) :

$$A = V \div h = 4\ dm^3 \div 1,3\ dm = 3,08\ dm^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A}{\pi/4}} = \sqrt{\frac{3,08\ dm^2}{0,785}} = \sqrt{3,92\ dm^2} =$$

$$= 1,98\ dm = \underline{198\ mm}$$

١٥—٣ استخدمت ألواح من الفولاذ مساحتها $A = 9,8 m^2$ وسمكها d = 2 mm وكثافتها 7,85 kg/dm³. احسب الوزن .

١٥—٤ احسب ثمن اللوح من الورق السميك الصلد (الفيبر) الذي طوله 850 mm وعرضه 620 mm وسُمكه 12 mm ، إذا تكلف 1 kg منه 5,25 SR (الكثافة = 1,4 g/cm³) .

١٥ — ٥ مكعب من الرصاص طول ضلعه 30 cm وكثافته ($\varrho$=11,3 g/cm³) اوجد وزنه بالكيلوجرام .

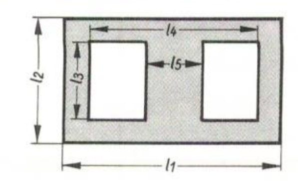
١٥ — ٦ احسب وزن انبوبة (ماسورة) من الفولاذ طولها 32 m وقطرها الخارجي 35 mm وسمك جدارها 2,5 mm ($\varrho$=7,85 g/cm³) .

١٥ — ٧ كم طنا من الرمال الجافة ($\varrho$=1,4 g/cm³) تختزن في كومة على شكل مخروط ارتفاعه 2 m وقطر قاعدته $6\frac{1}{2}$ m؟

١٥ — ٨ احسب الوزن المتري (أي وزن قضيب طوله 1 m) للمقاطع الجانبية بالمسألة (١٤ — ٦) إذا كانت مصنوعة من الألومنيوم ذي الكثافة $\varrho$=2,7 g/cm³ مستخدما الصيغة الرياضية : $m = A \cdot l \cdot \varrho$ .

١٥ — ٩ تصنع قلوب المحولات من صاج المحولات (السُمك d=0,35 mm ، انظر الأبعاد على الرسم) . احسب وزن الحزمة بالكيلوجرام لكثافة مقدارها 7,85 g/cm³ . (الأبعاد بالمليمتر ، z = عدد الرقائق في كل حزمة) .

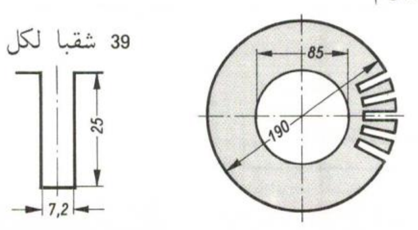
| | محوّل | $l_1$ | $l_2$ | $l_3$ | $l_4$ | $l_5$ | z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| أ ) | 125 VA | 105 | 88 | 54 | 79 | 29 | 85 |
| ب) | 880 VA | 170 | 140 | 90 | 125 | 45 | 197 |
| جـ) | 2000 VA | 291 | 209 | 135 | 165 | 65 | 209 |



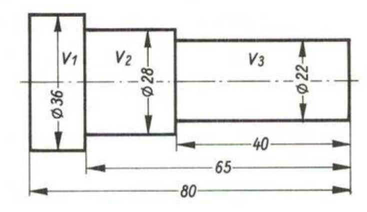

١٥ - ١٠ احسب وزن الموصلات الكهربائية غير المعزولة :

| الموصل | الطول (m) | أبعاد المقطع | الكثافة (g/cm³) |
|---|---|---|---|
| أ ) قضيب من النحاس | 6 m | 10 mm × 50 mm | 8,9 |
| ب) قضيب من الألومنيوم | 10 m | 5 mm × 30 mm | 2,7 |
| ج) سلك ذو مقطع دائري من النحاس | 185 m | d = 0,2 mm | 8,9 |
| د ) سلك ذو مقطع دائري من الألومنيوم | 94 m | d = 1,0 mm | 2,7 |
| هـ ) سلك تسخين من معدن المقاومة | 75 m | d = 0,5 mm | 8,2 |
| و ) شريط تسخين من معدن المقاومة | 120 m | 0,2 mm × 1,5 mm | 8,2 |

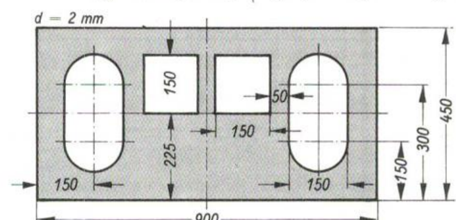
١٥ — ١١ يتكون عضو الإنتاج في محرك كهربائي من 210 قطع من رقائق فولاذ المحولات (السمك = 0,5 mm والكثافة = 7,85 g/cm³) . انظر الأبعاد على الرسم . احسب الوزن بالكيلوجرام .



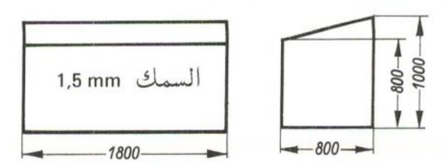

١٥ — ١٢ إحسب وزن المسمار المصنوع من النحاس الأصفر ذي الكثافة 8,4 g/cm³ والمبين بالشكل بالوحدتين g, kg؟

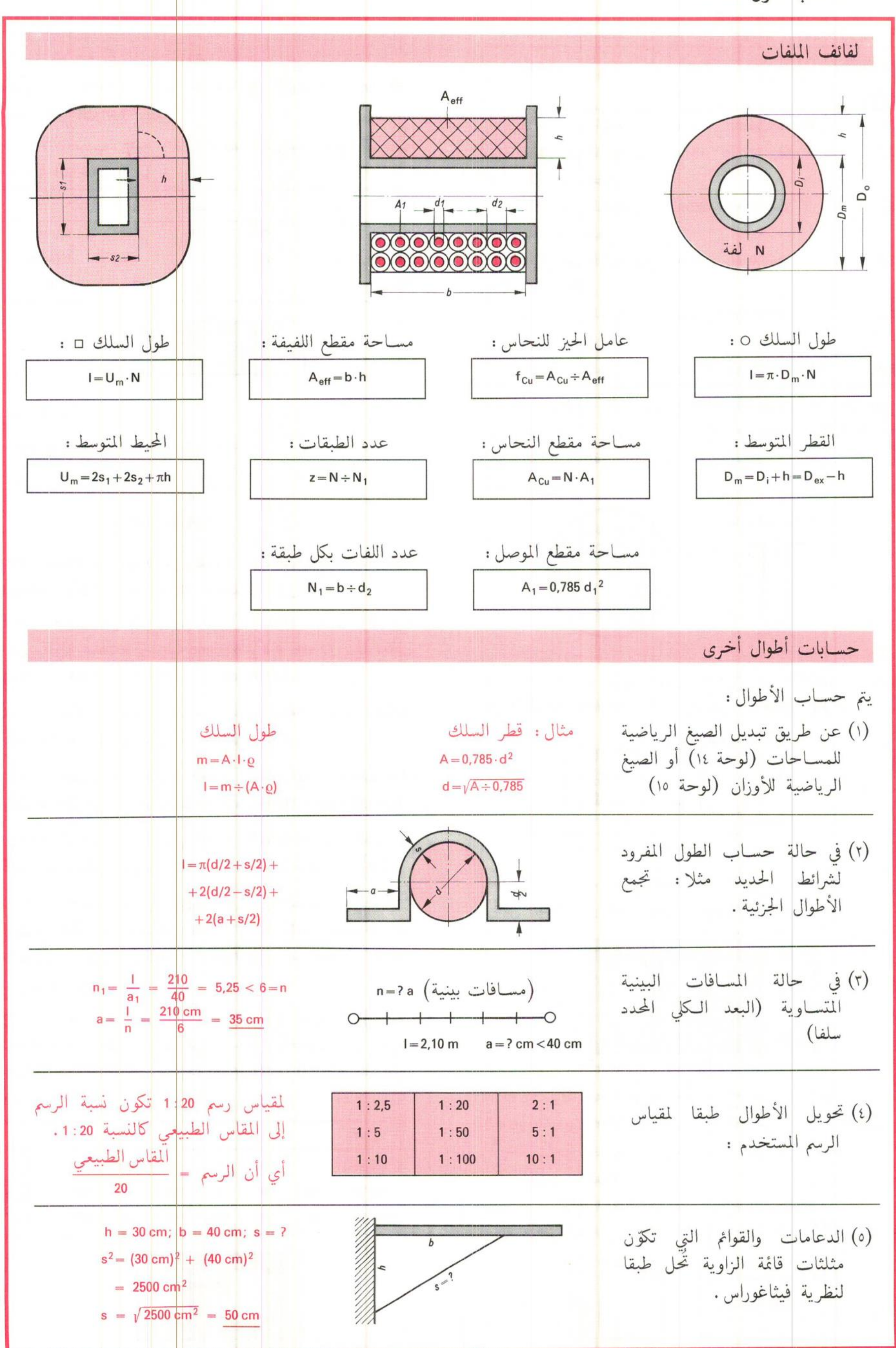



١٥ — ١٣ إحسب الوزن الكلي لستة ألواح تغطية مصنَّعة من رقائق الفولاذ الموضحة بالرسم ($\varrho$=8,75 g/cm³) :




١٥ — ١٤ يراد تغطية لوحة تحكُّم بألواح من الصاج (d=1,5 mm; $\varrho$=7,85 g/cm³) الأبعاد موضحة على الرسم . احسب :
أ ) المساحة الجانبية الكلية بوحدة المتر المربع (m²) (بدون قاعدة)
ب) وزن ألواح التغطية بوحدة الكيلوجرام (kg)
ج) الحجم الداخلي للوحة التحكم بوحدة المتر المكعب (m³) .





## لفائف الملفات



طول السلك ○ :

$l = \pi \cdot D_m \cdot N$

عامل الحيز للنحاس :

$f_{Cu} = A_{Cu} \div A_{eff}$

مساحة مقطع اللفيفة :

$A_{eff} = b \cdot h$

طول السلك □ :

$l = U_m \cdot N$

القطر المتوسط :

$D_m = D_i + h = D_{ex} - h$

مساحة مقطع النحاس :

$A_{Cu} = N \cdot A_1$

عدد الطبقات :

$z = N \div N_1$

المحيط المتوسط :

$U_m = 2s_1 + 2s_2 + \pi h$

مساحة مقطع الموصل :

$A_1 = 0{,}785\, d_1{}^2$

عدد اللفات بكل طبقة :

$N_1 = b \div d_2$

## حسابات أطوال أخرى

يتم حساب الأطوال :

(١) عن طريق تبديل الصيغ الرياضية للمساحات (لوحة ١٤) أو الصيغ الرياضية للأوزان (لوحة ١٥)

مثال : قطر السلك

$A = 0{,}785 \cdot d^2$

$d = \sqrt{A \div 0{,}785}$

طول السلك

$m = A \cdot l \cdot \varrho$

$l = m \div (A \cdot \varrho)$

(٢) في حالة حساب الطول المفرود لشرائط الحديد مثلا : تجمع الأطوال الجزئية .



$l = \pi(d/2 + s/2) +$

$+ 2(d/2 - s/2) +$

$+ 2(a + s/2)$

(٣) في حالة المسافات البينية المتساوية (البعد الكلي المحدد سلفا)



$n_1 = \frac{l}{a_1} = \frac{210}{40} = 5{,}25 < 6 = n$

$a = \frac{l}{n} = \frac{210\ cm}{6} = \underline{35\ cm}$

(٤) تحويل الأطوال طبقا لمقياس الرسم المستخدم :

| | | |
|---|---|---|
| 1 : 2,5 | 1 : 20 | 2 : 1 |
| 1 : 5 | 1 : 50 | 5 : 1 |
| 1 : 10 | 1 : 100 | 10 : 1 |

لمقياس رسم 1:20 تكون نسبة الرسم إلى المقاس الطبيعي كالنسبة 1:20 .

أي أن الرسم = $\frac{\text{المقاس الطبيعي}}{20}$

(٥) الدعامات والقوائم التي تكوّن مثلثات قائمة الزاوية تحل طبقا لنظرية فيثاغوراس .



h = 30 cm; b = 40 cm; s = ?

$s^2 = (30\ cm)^2 + (40\ cm)^2$

$= 2500\ cm^2$

$s = \sqrt{2500\ cm^2} = \underline{50\ cm}$

تمرينات

**اللفائف**

١٦ – ١ احسب سمك العزل $s=(d_2-d_1)\div 2$ للقيم المبينة بالجدول.

سلك نحاسي مستدير معزول أقطاره $d_1$ و $d_2$ بالمليمتر (mm)

| | 2 B | B | 2 S | S | قطر |
|---|---|---|---|---|---|
| | طبقتان من القطن | طبقة واحدة من القطن | طبقتان من الحرير | طبقة واحدة من الحرير | سلك النحاس $d_1$(mm) |
| أ) | 0,314 | 0,254 | 0,224 | 0,189 | 0,15 |
| ب) | 0,627 | 0,527 | 0,477 | 0,447 | 0,4 |
| ج) | 1,032 | 0,932 | 0,892 | 0,852 | 0,8 |
| د) | 1,740 | 1,640 | 1,620 | – | 1,5 |

١٦ – ٢ احسب للمعطيات من (أ) إلى (د): ١) القطر المتوسط للفة لطبقة واحدة، ٢) الطول المتوسط للفة $U_m$ (mm). بدقة حتى $\frac{1}{100}$ mm.

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| سلك نحاسي مستدير | S 0,15 | B 0,4 | 2S 0,8 | 2B 1,5 |
| قطر اللفيفة | 18 mm | 35 mm | 60 mm | 86 mm |

١٦ – ٣ احسب بالمليمتر المحيط المتوسط للَّفة من ملف ذي مقطع مستطيل بالقيم التالية:

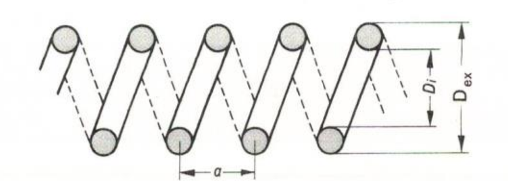
| | | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|---|
| ارتفاع الجسم | $s_1$ (mm) | 22 | 36 | 52 |
| عرض الجسم | $s_2$ (mm) | 22 | 24 | 32 |
| ارتفاع اللفيفة | h (mm) | 10 | 12 | 15 |

١٦ – ٤ اوجد عدد اللفات التي يمكن لفها على عرض ملف b = 100 mm بواسطة سلك مستدير من النحاس:
أ) S 0,4 ب) B 0,8 ج) 2S 0,15 د) B 0,4.

١٦ – ٥ يراد لف 318 لفة من سلك نحاسي مستدير 2B 0,4 في طبقة واحدة على بكرة ملف (القطر الخارجي 90 mm). احسب: أ) عرض اللف b بالمليمتر، ب) طول السلك l بالمتر ج) وزن النحاس بالكيلوجرام (kg).

١٦ – ٦ لف سلك مقاومة عارٍ طوله 82 m (d = 0,5 mm) في طبقة واحدة حول جسم اسطواني قطره 45 mm. احسب عدد اللفات N.

١٦ – ٧ يراد صنع ملف تسخين قطره الخارجي $D_{ex}$ = 3,8 m من سلك مقاومة عار (d = 0,3 mm).
احسب: أ) قطر شاقة اللف $D_i$ بالمليمتر، ب) عرض اللف $b_1$ بالمليمتر لسلك طوله 7,2 m، ج) خطوة اللف $a=b_2\div N$ إذا لف الملف بعرض جديد $b_2$ = 0,75 m.




١٦ – ٨ يبين الجدول التالي قيما لملفات مغنطيسية ذات بكرة لف أسطوانية. احسب القيم الناقصة:

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| القطر الخارجي $D_{ex}$ (mm) | 55 | 45 | ? |
| القطر الداخلي $D_i$ (mm) | 35 | 27 | 48 |
| عرض اللف b (mm) | 58 | ? | 108 |
| عدد اللفات N | ? | 7000 | 6750 |
| طول السلك l (mm) | ? | ? | ? |
| في نمط السلك النحاسي المستدير | 2S 0,4 | S 0,15 | 2B 0,4 |
| عامل الحيز للنحاس ($f_{Cu}$) | 0,43 | 0,43 | 0,29 |

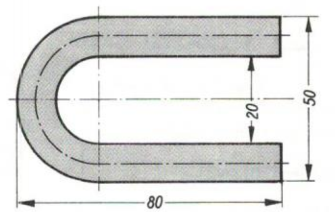
**حساب الأطوال**

١٦ – ٩ لُفَّ سلك نيكل-كروم قطره 0,35 mm ووزنه الصافي 0,42 kg (الكثافة 8,2 g/cm³) حول أسطوانة خشبية. كم متراً من السلك تحتويها الأسطوانة؟

١٦ – ١٠ سلك نحاسي عار مساحة مقطعه 4 mm² (كثافته 8,9 g/cm³). كم مترا تحتويها ربطة من السلك وزنها 24,5 kg.

١٦ – ١١ كم مترا من موصل نحاسي NYA Cu مساحة مقطعه 1,5 mm² تحتويها ربطة ذات 48 لفة (القطر الخارجي 45 cm والداخلي 40 cm)؟

١٦ – ١٢ احسب الطول المتوسط لقلب المغنطيس الموضح بالرسم.




١٦ – ١٣ احسب الطول المفرود لماسك (قفيز) تثبيت كبلات طبقا للوحة ١٦ بالأبعاد:

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| d (mm) | 30 | 35 | 50 | 60 | 80 |
| s (mm) | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| a (mm) | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 |

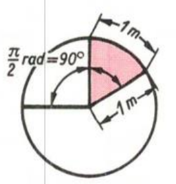
١٦ – ١٤ يراد تثبيت موصِّل خاص بالأماكن الرطبة طوله 12,6 m بواسطة ماسكات (قفيزات) على مسافات بينية متساوية قدرها كما يلي:
أ) 30 cm كحد أقصى، ب) 50 cm كحد أقصى. احسب:
١) عدد المسافات البينية، ٢) عدد الدسر (الخوابير) ٣) المسافة البينية بين الدسر.

١٦ – ١٥ قيست الأبعاد الموضحة بالجدول من مخطط أفقي لمسكن، وكان مقياس الرسم كما هو مبين. أوجد الأطوال الحقيقية لهذه الأبعاد.

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| مقياس الرسم | 1:100 | 1:50 | 1:200 | 1:500 |
| الطول في الرسم | 15 mm | 18 mm | 23 mm | 7,4 mm |

١٦ – ١٦ أرسم كلا من الأبعاد التالية: $l_1$ = 18,5 mm; $l_2$ = 37,5 mm; $l_3$ = 26,7 mm بمقياس رسم:
أ) 5 : 1 ب) 2 : 1 ج) 1 : 2,5

## وحدات الزوايا




$\pi/2$ rad ÷ 90 = $\pi/180$ rad = 1°

[$\pi/2$ (نقية) ÷ 90 = $\pi/180$ (نِقيّة) = 1°]

تتحدد الزاوية المستوية (مقياس دائري) بالنسبة بين طول القوس لقطاع من دائرة ونصف قطر الدائرة.

يرمز لوحدة الزوايا بالرمز 1 نصف قطرية (الرمز المختصر نقية rad) وتمثل بزاوية تكون النسبة بين طول قوسها الدائري ونصف قطر الدائرة مساويا للقيمة العددية 1. الزاوية القائمة (الرمز المختصر: L، وتنطق قائمة) وتساوي: $1^L = \frac{\pi}{2} \cdot rad$

الدرجة (الرمز المختصر: °) تساوي جزءا من 90 من الزاوية القائمة: $1° = \pi/180 \cdot rad$.

مثال:

$20°30' = 20\frac{30°}{60} = 20{,}5°$; $20{,}5° = \frac{20{,}5 \cdot 2\pi}{360}$ rad = 0,358 rad

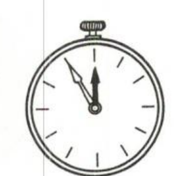
$20{,}5° = 20° + 0{,}5 \cdot 60' = 20°30'$;

### تسميات الزوايا

SB, SA = ضلعي الزاوية
S = رأس الزاوية
$\measuredangle\alpha$ = الزاوية ألفا

| الحروف الأبجدية اليونانية المستخدمة لتسمية الزوايا | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Alpha ألفا Α α | Beta بيتا Β β | Gamma جاما Γ γ | Delta دلتا Δ δ | Epsilon ابسلون Ε ε | Zeta زيتا Ζ ζ |
| Eta ايتا Η η | Theta ثيتا Θ ϑ | Iota يوتا Ι ι | Kappa كابا Κ ϰ | Lambda لامدا Λ λ | Mu ميو Μ μ |
| Nu نيو Ν ν | Xi كساي Ξ ξ | Omicron أوميكرون Ο ο | Pi باي Π π | Rho رو Ρ ϱ | Sigma سيجما Σ σ |
| Tau تاو Τ τ | Upsilon أوبسلون Υ υ | Phi فاي Φ φ | Chi شاي Χ χ | Psi بساي Ψ ψ | Omega أوميغا Ω ω |

## الزمن t



الرمز المستخدم في الصيغ الرياضية t، الوحدة 1 s (ثانية)

| | |
|---|---|
| دقيقة | 60 s = (1 min) |
| ساعة | 60 min = (1h) |
| يوم واحد | 24 h = |

الفرق بين الفترة الزمنية والوقت

مثال: الفترة الزمنية هي: 6 h 30 min 10 s

أما الوقت فهو: $6^h\,30^m\,10^s$

مثال لحساب بكميات زمنية:

15 h 6 min 43 s
− 3 h 57min 48 s
?

الحل: 14 h 65 min 103 s
− 3 h 57 min 48 s
11 h 8 min 55 s

## السرعة v (السرعة الزاوية ω)

السرعة المنتظمة (المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن)

| | | |
|---|---|---|
| في حركة المرور بالطرق | $v = \frac{s}{t}\left(\frac{km}{h}\right)$ | السرعة (km/h) = المسافة (km) / الزمن (h) |
| في الفيزياء | $v = \frac{s}{t}\left(\frac{m}{s}\right)$ | السرعة (m/s) = المسافة (m) / الزمن (s) |
| على الطرق الدائرية | $v = \frac{\pi \times d \times n}{60}\left(\frac{m}{s}\right)$ | السرعة المحيطية (m/s) = المحيط (m) × عدد الدورات في الثانية |
| لزاوية الدوران | $\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}\left(\frac{rad}{s}\right)$ | السرعة الزاوية (أوميغا) (rad/s) = الزاوية الكاملة (rad) × عدد الدورات في الثانية |

(١) تحويل الوحدات: 1m/s = 1·60·60 ÷ 1000 km/h = 3,6 km/h

(٢) يقاس عدد الدورات n في كل دقيقة، أي n/60 لفة في كل ثانية.

(٣) تتساوى السرعة الزاويّة ω لجميع النقط على قرص دوار.

(٤) تتغير السرعة المحيطية v في مسار دائري بتغير نصف القطر مع ثبات السرعة الزاوية: $v = \omega \cdot r$

**الاقلاع (بدء التحرك)**

التسارع = زيادة السرعة / الزمن أثناء الزيادة (الاقلاع) = $\frac{v\,(m/s)}{t(s)} = +a\,(m/s^2)$

**الفرملة (الكبح)**

التقاصر = نقص السرعة / زمن الفرملة = $\frac{v\,(m/s)}{t\,(s)} = -a(m/s^2)$

## تمرينات

### الزاوية :

١٧ – ١ كم درجة تبين أجزاء الدائرة التالية :

أ) 1/1 ب) 1/2 جـ) 1/3 د) 1/4 هـ) 1/5 و) 1/12 .

١٧ – ٢ أوجد الزاوية المحصورة بين عقربي الساعة عند كل من :

أ) $3^h$ ب) $9^h$ جـ) $1^h$ د) $12^h$ هـ) $6^h$ و) $4^h$.

١٧ – ٣ أوجد مقدار الجزء من الدائرة المحصور بين نصفي قطر بينهما زاوية قدرها : أ) 90° ب) 180° جـ) 120° د) 30° هـ) 36° و) 72°.

١٧ – ٤ إلى ١٧ – ٧ حوّل المقادير بالمسألة (١٧ – ٤) إلى زوايا نِقّية، (١٧ – ٥) إلى دقائق، ١٧ – ٦ إلى درجات، ١٧ – ٧ إلى دقائق.

| | ١٧ – ٤ | ١٧ – ٥ | ١٧ – ٦ | ١٧ – ٧ |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 360° | 20″ | 20′ | $^1/_2$° |
| ب) | 180° | 40″ | 30′ | $^1/_3$° |
| جـ) | 90° | 45″ | 45′ | $^1/_4$° |
| د) | 45° | 50″ | 50′ | $^1/_5$° |
| هـ) | 86° | 55″ | 58′ | $^1/_6$° |
| و) | 57,4° | 6″ | 1800′ | $^1/_{10}$° |

١٧ – ٨ أكمل القيم الناقصة في الجدول

| | أ | ب | جـ |
|---|---|---|---|
| الزاوية بالدرجات ($\alpha$) | 72° | ? | ? |
| بالقياس الدائري ($\alpha$) | ? | 2 rad | ? |
| قوس الدائرة | ? cm | ? | 8 cm |
| نصف قطر الدائرة | 10 cm | 150 mm | 12 cm |

١٧ – ٩ أوجد طول القوس المقابل لزاوية دوران على محيط بكرة قطرها 300 mm عند : أ) (نقية) 2 rad ب) 5 rad جـ) π rad ؟

### الوقت :

١٧ – ١٠ إلى ١٧ – ١٣ حوّل المقادير بالمسألة (١٧ – ١٠) إلى دقائق وثوان، (١٧ – ١١) إلى ساعات ودقائق وكل من (١٧ – ١٢) و (١٧ –١٣) إلى دقائق.

| | (١٧ – ١٠) | (١٧ – ١١) | (١٧ – ١٢) | (١٧ – ١٣) |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 640 s | 200 min | 2,50 h | 30 s |
| ب) | 425 s | 450 min | 6,30 h | 20 s |
| جـ) | 155 s | 122 min | 4,25 h | 40 s |
| د) | 605 s | 145 min | 0,30 h | 50 s |
| هـ) | 422 s | 750 min | 0,20 h | 35 s |
| و) | 1000 s | 1000 min | 24,00 h | 70 s |

١٧ – ١٤ احسب الأجور الآتية بالريال :

| الأجر في الساعة | 8,65 | 7,70 | 7,40 |
|---|---|---|---|
| أ) الأجر اليومي (8 h) | ? | ? | ? |
| ب) الأجر الأسبوعي (40 h) | ? | ? | ? |
| جـ) الدخل الشهري (175 h) | ? | ? | ? |
| د) الدخل السنوي (2100 h) | ? | ? | ? |

باعتبار فترة العمل في اليوم 8 h وفي الأسبوع 40 h وفي الشهر 175 h وفي السنة 2100 h .

١٧ – ١٥ يلزم لعملية تجميع الأزمنة التالية :

3 min + 5,5 min + 16 min + 1,2 min + 40 min + 6,5 min + 7,2 min + 0,4 min

اوجد الزمن الكلي للعمل بالساعات .

١٧ – ١٦ أتمت دراجة بخارية 25 دورة في سباق ما في 4 h 18 min 12 s احسب متوسط الزمن للدورة الواحدة .

١٧ – ١٧ احسب الأوقات الناقصة

| | قيام | وصول | مدة الرحلة |
|---|---|---|---|
| أ) | $0^h$ $0^m$ $0^s$ | ? | 17 500 s |
| ب) | $13^h$ $30^m$ $0^s$ | ? | 5 850 s |
| جـ) | $9^h$ $15^m$ $30^s$ | ? | 7 000 s |
| د) | ? | $24^h$ $0^m$ $0^s$ | 12 000 s |
| هـ) | ? | $19^h$ $22^m$ $8^s$ | 15 500 s |
| و) | ? | $15^h$ $4^m$ $13^s$ | 20 220 s |

### السرعات

١٧ – ١٨ عدا متسابق 100 m في 11,2 s. احسب السرعة v بكل من (m/s) و (km/h).

١٧ – ١٩ احسب جميع القيم الناقصة :

| | الزمن | المسافة (m) | v (m/s) | v (km/h) |
|---|---|---|---|---|
| أ) تيار النهر | 30 min | 1800 | ? | ? |
| ب) مشاة | ? | 10 | ? | 5 |
| جـ) راكب دراجة | $3\frac{1}{2}$ h | ? | ? | 20 |
| د) حركة المرور في المدينة | ? | 20 | ? | 50 |
| هـ) طائر السنونو | 5 s | 300 | ? | ? |
| و) موجة صوتية | 6 s | ? | 333 | ? |
| ز) سفينة فضاء | 3 أيام | $385 \cdot 10^6$ | ? | ? |
| ح) أشعة ضوئية | ? | $385 \cdot 10^6$ | $3 \cdot 10^8$ | ? |

١٧ – ٢٠ تسير سيارتان على طريق بسرعة $v_1 = 80$ km/h و $v_2 = 90$ km/h . أ) ما مقدار السرعة النسبية؟ ب) اوجد الزمن اللازم للتخطي لمسافة إضافية 50 m للسيارة المتخطية جـ) ما المسافة الكلية التي تقطعها السيارة المتخطية لإتمام التخطي؟ د) ما مقدار سرعة الاصطدام إذا ما كانت السيارتان تسيران مواجهة؟ هـ) احسب المسافة البينية قبل التصادم مجابهةً بثانيتين.

مثال : تدور بكرة 10 مرات في 10 ثوان . احسب : أولا) سرعة الدوران n (r.p.m.)، ثانيا) السرعة الزاويّة $\omega$ (بالزوايا نصف القطرية لكل ثانية) . ثالثا) السرعة المحيطية v عند r = 0,1 m .

الحل : أولا : $n = 10 : {}^1/_6 \text{ min} = \underline{60 \text{ r.p.m.}}$

ثانيا : $\omega = 2\pi \text{ rad} \cdot n/60 = 6{,}28 \cdot 60/60 \text{ rad/s} = \underline{6{,}28 \text{ rad/s}}$

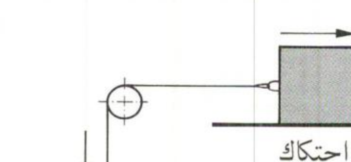
ثالثا : $v = \omega \cdot r = 6{,}28 \text{ rad/s} \cdot 0{,}1 \text{ m} = \underline{0{,}628 \text{ m/s}}$

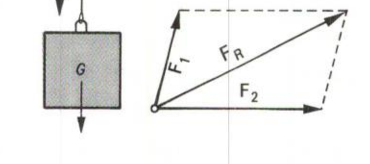
١٧ – ٢١ أكمل البيانات الناقصة بالجداول :

| | أ | ب | جـ |
|---|---|---|---|
| سرعة الدوران (r.p.m.) | 100 | 2000 | ? |
| السرعة الزاوية $\omega$ (rad/s) | ? | ? | 314 |
| قطر القرص d (mm) | 200 | 800 | 300 |
| نصف قطر القرص r (m) | ? | ? | ? |
| السرعة المحيطية v (m/s) | ? | ? | ? |

١٧ – ٢٢ استخدمت فرملة لسيارة تسير بسرعة 45 km/h بتقاصر $a = -2{,}5$ m/s² (أي أنها تفقد في كل ثانية 2,5 m/s من سرعتها) . احسب : أ) زمن الفرملة ب) مسافة الفرملة .

## القوة واتجاهها




(١) تظهر القوة أثناء التسارع أو الفرملة (الكبح) أو القذف أو الاحتكاك... الخ. ويمكن مقارنة كل قوة F بثقل G على بكرة أو على ميزان زنبركي.

(٢) «القوة = الكتلة × التسارع»، ووحدتها:

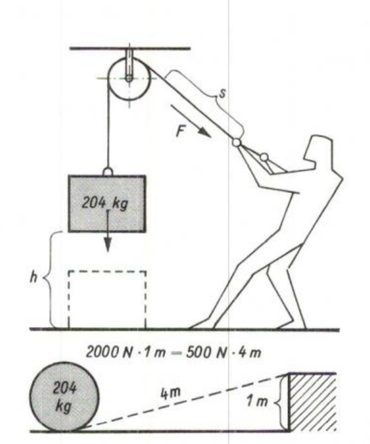
1 N (نيوتن) $= 1\ kg \cdot 1\ m/s^2$

وسابقا كان يستعمل (كيلو بوند) 1 kp $= 1\ kg \cdot 9{,}81\ m/s^2$

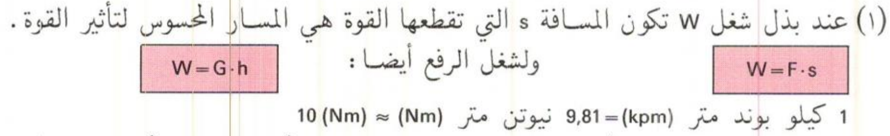
$1\ kp = 9{,}81\ N \approx 10\ N$

(٣) إذا أثرت قوتان على نقطة واحدة وأمكن تمثيلهما في المقدار والاتجاه بضلعين متجاورين من متوازي أضلاع فإنه يمكن تمثيل محصلتهما بقطر متوازي الأضلاع المار بنقطة تأثير القوتين. ويجب مراعاة اتجاه تأثير القوى عند جمعها.

## الشغل الميكانيكي W - عزم الدوران M




(١) عند بذل شغل W تكون المسافة s التي تقطعها القوة هي المسار المحسوس لتأثير القوة.



$W = F \cdot s$ ولشغل الرفع أيضا: $W = G \cdot h$

1 كيلو بوند متر (kpm) = 9,81 نيوتن متر (Nm) ≈ 10 (Nm)

(٢) يمكن تنفيذ الشغل بقوة أقل بتوزيع إحداثه على مسافة أطول لذراع تأثير القوة (عن طريق رافعة أو مرفاع يدوي أو بكارة أو عمود ملولب أو مستوى مائل... الخ) ويمكن بذلك تنفيذه بقوة أقل.

$$W = F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

(٣) $F_1 \cdot 2\pi r_1 = F_2 \cdot 2\pi r_2$

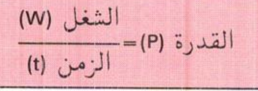
باختصارها ينتج: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$

في حالة الشغل المبذول على مسارات دائرية (رافعة أو عمود إدارة) تكون المقارنة بين عزوم الدوران $M = F.r$ ويتطلب الذراع الأطول في الرافعة قوة أصغر:

$$M = F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

## القدرة الميكانيكية P

(١) تكون القدرة P عالية إذا ما بذل الشغل بسرعة وظل الزمن t اللازم صغيرا أي أن: P تتناسب طرديا مع 1/t



$$\text{القدرة (P)} = \frac{\text{الشغل (W)}}{\text{الزمن (t)}}$$

(٢) الوحدات: (1 واط) $= 1\ W = 1\ Nm/s$

(كيلوواط) $1\ kW = 1000\ W$

(٣) قدرة المحرك

$$P\,(W) = \frac{M\,(Nm) \cdot n\,(r.p.m)}{9{,}55}$$ (انظر اللوحة ٥٤)

يقاس العزم M بجهاز الفرملة، n بعداد الدورات (تاكومتر).

## الكفاية η

يتحول الاحتكاك في الآلات إلى حرارة ويؤدي إلى فقد في القدرة. وتكون القدرة المستفادة (القدرة الخارجة) $P_o$ أقل من القدرة المعطاة (المبذولة) $P_i$ وتسمى النسبة $\frac{P_o}{P_i}$ بالكفاية η (تنطق إيتا)

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_2}{P_1} < 1$$

ويجب أن يكون لكل من $P_o$ و $P_i$ نفس الوحدات أما η (إيتا) فلا تميز (ليس لها وحدات).

| كفاية بعض المكنات الهامة | |
|---|---|
| الآلات البخارية | 0,1...0,2 |
| محركات البنزين | 0,2...0,3 |
| المحركات الكهربائية | 0,6...0,9 |

## تمرينات

### القوة واتجاهها

١٨ – ١ ما هي القوة اللازمة لرفع الكتل التالية ضد قوة جذب الأرض (تسمى أيضا الثقل)؟

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| الكتلة (m) | 1 kg | 1 g | 1 t | 1 mg | 500 g |
| القوة (F) | ? | ? | ? | ? | ? |

لاحظ أن لكلمة «وزن» ثلاثة معان:

(١) الوزن = الكتلة أو كمية المادة (في حالة معطيات الكميات، شحنات منقولة، بيانات المخزون وأيضا في الفرملة والتسارع) تميَّز الكتلة m بالجرام (g) أوالكيلوجرام (kg) أو الطن (t).

(٢) الوزن = الثقل (على الحوامل والقواعد ونقط الارتكاز أو في التصميات أو لإجهادات الشد أو الضغط). يعبر عن G بالوحدات (N) أو (kN) أو (MN). تجذب الأرض جسما كتلته 1 kg بقوة قدرها 9,81 N ≈ 10 N.

(٣) تسمى الأثقال المستخدمة في عملية الوزن بالأوزان (صنج).

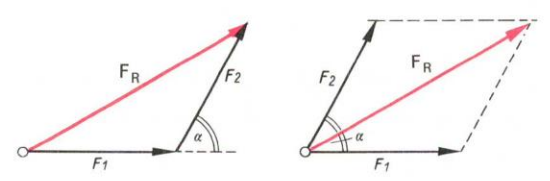
١٨ – ٢ ما هي القوة اللازمة لكي تتسارع بها عربة يد محملة خفيفة الحركة (الحمولة الكلية 150 kg) على طريق مستو إلى سرعة 1,5 m/s في 1 ثانية؟

إرشاد للحل: يعطي حاصل ضرب كل من الكتلة (kg) والتسارع ($m/s^2$) القوة اللازمة (N).

١٨ – ٣ ما هي القوة اللازمة لكي يتسارع قطار بضائع (الحمولة الكلية 500 t) إلى سرعة 45 km/h في زمن قدره 2 min 5 s؟ (التسارع $m/s^2 = m/s \div s$)

١٨ – ٤ تؤثِّر قوتان: $F_1 = 100$ N و $F_2 = 80$ N في وقت واحد على نقطة تأثير واحدة: أ) في نفس الاتجاه ب) في اتجاهين متضادين. احسب القوة الكلية في كل حالة.

١٨ – ٥ تحصر القوتان: $F_1 = 50$ N و $F_2 = 50$ N (انظر الرسم) زاوية الإتجاه: $\alpha = 0° ..... 180°$ طبقا للجدول. اوجد بالرسم المحصلة $F_R$ بواسطة متوازي أضلاع القوى أو بمثلث القوى (أي بصف متجهات القوة خلف بعضها البعض):



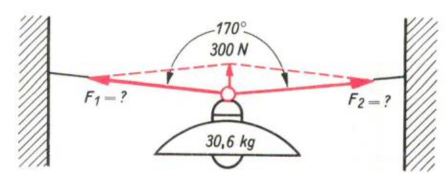

ارسم القوى من (أ) إلى (ز) بمقياس رسم: 1 mm ≙ 1 N

| | أ | ب | ج | د | هـ | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| زاوية α∡ | 90° | 45° | 15° | 0° | 120° | 150° | 180° |
| $F_R$(N) | ? | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

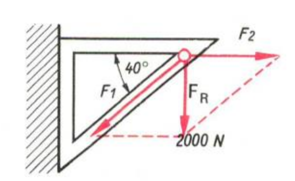
١٨ – ٦ اوجد المحصلة بالرسم من البيانات المدونة بالجدول:

| | أ | ب | ج | د | هـ | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $F_1$ (N) | 30 | 70 | 3 | 200 | 4 | 60 | 0,5 |
| $F_2$ (N) | 80 | 50 | 6 | 100 | 5 | 80 | 0,3 |
| زاوية α∡ | 90° | 60° | 45° | 30° | 120° | 90° | 50° |

١٨ — ٧ اوجد مقدار قوتي الشد $F_1$ و $F_2$ المؤثرتين على السلكين المشدودين الحاملين لمصباح الطريق الذي يبلغ وزنه 30,6 kg.




١٨ — ٨ اوجد القوى المؤثرة على ذراع كابول محمل بحمل قدره 2000 N؟




### الشغل الميكانيكي

(يهمل الفقد نتيجة الاحتكاك إذا لم يذكر)

١٨ – ٩ احسب الشغل W بوحدة Nm للمسافة الرأسية لتأثير القوة (قوة الرفع تعادل الوزن) طبقا للجدول:

| | | الشحنة المرفوعة | الارتفاع | الشغل |
|---|---|---|---|---|
| أ ) | مصعد | أربعة أشخاص وزن كل منهم 75 kg | 25 m | ? |
| ب) | مصعد مواد | 10 t فحم | 800 m | ? |
| جـ) | عيار (ونش) | سيارة ركوب وزنها 0,8 t | 3 m | ? |
| د ) | مرفاع سيارات | شاحنة وزنها 6 t | 40 cm | ? |
| هـ) | مرفاع يدوي | 50 kg قمح | 6 m | ? |
| و ) | مضخة | 1000 l ماء | 10 m | ? |

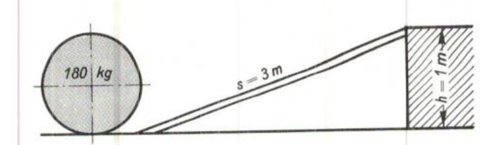
١٨ – ١٠ تظهر مسافات لتأثير القوة في اتجاهات مختلفة، عند حدوث الاحتكاك، التمدد، القوة الطاردة المركزية أو التسارع . . . إلخ، أكمل القيم الناقصة بالجدول:

| | F (القوة) | s (مسافة تأثير القوة) | W (الشغل) |
|---|---|---|---|
| أ ) | 0,3 N | 1,50 m | ? |
| ب) | 720 N | 2,00 mm | ? |
| جـ) | ? | 1,20 m | 15 Nm |
| د ) | 4,2 kN | ? | 2,8 kNm |
| هـ) | ? | 65 cm | 26 Nm |
| و ) | 981 N | 5,00 m | ? |

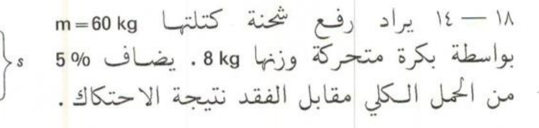
١٨ – ١١ إذا ما قسّمت قيمة ثابتة للشغل تقسيما منتظما على مسافة تأثير أطول للقوة، قلّت القوة المطلوبة لإحداث هذا الشغل. أكمل البيانات الناقصة بالجدول:

| | W (الشغل) | s (مسافة تأثير القوة) | F (القوة) |
|---|---|---|---|
| أ ) | 12 kNm | 6 cm | ? |
| ب) | 12 kNm | 12 cm | ? |
| جـ) | 12 kNm | 40 cm | ? |
| د ) | 12 kNm | 1,5 m | ? |
| هـ) | 12 kNm | 5 m | ? |
| و ) | 12 kNm | 30 m | ? |

١٨ — ١٢ يراد دحرجة برميل به 180 kg من الزيت على لوحين من الخشب طول كل منهما 3 m لرفعه على رصيف تفريغ ارتفاعه 1 m . ما مقدار القوة اللازمة لذلك؟




١٨ — ١٣ يراد رفع محرك ثقيل كتلته 250 kg إلى قاعدته على ارتفاع 80 cm بواسطة دلافين دحرجة ومستوى مائل طوله 6 m . احسب قوة الشد .



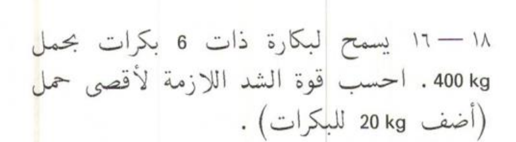

١٨ — ١٤ يراد رفع شحنة كتلتها m = 60 kg بواسطة بكرة متحركة وزنها 8 kg . يضاف 5 % من الحمل الكلي مقابل الفقد نتيجة الاحتكاك .

أ ) اوجد طول الحبل الواجب سحبه لرفع الشحنة 10 cm .

ب) اوجد النسبتين العدديتين s : h , F : G .

ج) ما مقدار القوة F اللازمة للرفع؟

د ) كيف يمكن توفير مقدار أكبر من القوة؟

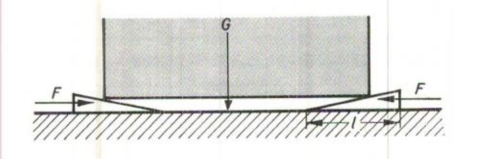



١٨ — ١٥ بكارة ذات 4 بكرات تحتوي على 4 حبال . اوجد القوة اللازمة لرفع أقصى شحنة مسموح بها 240 kg (أضف 12 kg للبكرات) مع اهمال الاحتكاك .

١٨ — ١٦ يسمح لبكارة ذات 6 بكرات بحمل 400 kg . احسب قوة الشد اللازمة لأقصى حمل (أضف 20 kg للبكرات) .

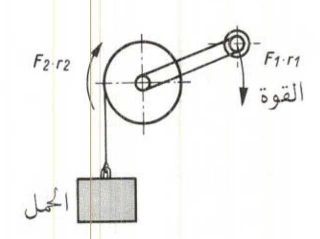
١٨ — ١٧ يراد رفع حمل ، كتلته 2 t بواسطة مرفاع لولبي سهل الحركة . فإذا كان طول ذراع الإدارة 20 cm ، ما مقدار القوة اللازمة لرفع الحمل مسافة 10 cm في 8 دورات مع إهمال الاحتكاك؟

١٨ — ١٨ يراد رفع حمل كتلته m = 1,2 t (أضف 10 % للفقد في الاحتكاك) بخابورين متوافقي الدق (الطول 24 cm والارتفاع 3 cm) . ما مقدار القوى اللازمة؟ انظر الشكل :




١٨ — ١٩ يعمل ملفاف باسطوانة قطرها 20 cm وذراع مرفقي نصف قطره 40 cm . ما مقدار التوفير في القوة (%) (مع إهمال الفقد) ؟

## القوة الدورانية وعزم الدوران




١٨ — ٢٠ يدار الذراع المرفقي لملفاف (r = 0,5 m) بقوة $F_1 = 120$ N . أ) اوجد مقدار عزم دوران الذراع $F_1 \cdot r_1$؟ ما مقدار القوة $F_2$ عندما يكون قطر الأسطوانة كما هو وارد بالجدول :

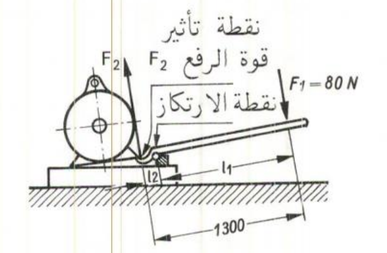
| | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| d (m) | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,15 |
| $F_2$ (N) | ? | ? | ? | ? | ? |

١٨ — ٢١ يولّد محرك كهربائي قوة محيطية قدرها $F_c = 40$ N على محيط عضوه الدوار (d = 25 cm) . احسب قوة شد المحرك المؤثرة على محيط العضو الدوار من البيانات المدوّنة بالجدول :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| d (cm) | 10 cm | 12,5 cm | 15 cm | 18 cm | 20 cm |
| F(N) | ? | ? | ? | ? | ? |

لماذا لا تعطى قوة الشد $F_1$ في المحركات وإنما يعطى عزم الدوران M؟

١٨ — ٢٢ احسب قوة الرفع $F_2$ في الشكل التالي ، إذا بلغت المسافة بين نقطة الدوران ونقطة التأثير لطرف الرافعة في لحظة بدء الرفع $l_2 = 100$ mm .

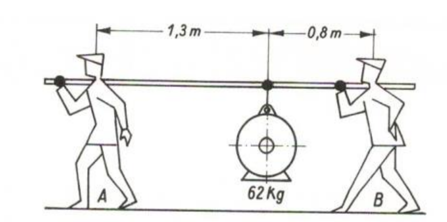



١٨ — ٢٣ تؤثر قوة $F_1 = 650$ N على رافعة ذات ذراعين من الحديد طولها 1,2m بحيث كان الحمل على بعد 90 mm من نقطة الدوران . احسب $F_2$ .

١٨ — ٢٤ رفع حمل قدره 370 kg من طرف واحد بواسطة رافعة طولها 1,6 m . احسب $F_1$ إذا وضع الحمل على بعد 112 mm من نقطة الارتكاز .

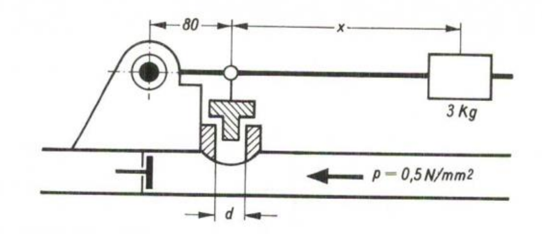
١٨ — ٢٥ ما مقدار القوة اللازمة لرفع عربة يد محملة بحمل كلي قدره 75 kg بالتوزيع التالي؟

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| ذراع القوة (cm) | 150 | 150 | 167 | 167 |
| ذراع الحمل (cm) | 45 | 30 | 45 | 30 |




١٨ – ٢٦ احسب الحمل على كل من A وB في الشكل الموضح أعلاه.
إرشاد للحل: اختر إما A أوB كنقطة ارتكاز لرافعة ذات ذراع واحد. والحمل الكلي =A+B.

١٨ – ٢٧ صمام الأمان الموضح بالشكل له فتحة مرور مستديرة ذات d=15 mm.
ما مقدار طول الذراع x اللازم لكي يفتح الصمام عند ضغط قدره $0,5\ N/mm^2$ ($p_u \approx 5$ bar).




## القدرة والكفاية

١٨ – ٢٨ احسب القدرة بالكيلوواط (kW) من البيانات الواردة بالجدول التالي:

| | F (kN) | s (m) | t (s) |
|---|---|---|---|
| أ ) عامل بناء | 1,25 | 6 | 20 |
| ب) مرفاع للبناء | 24 | 24 | 80 |
| جـ) رشاش للحريق | 10 | 30 | 60 |
| د ) مسقط مياه | 900 | 4 | 1 |

١٨ – ٢٩ يجر حصان عربة بقوة شد 720 N عند السير بسرعة 7,5 km/h. احسب القدرة بوحدة kW.

١٨ – ٣٠ احسب بالكيلوواط قدرة الرفع للفاف يرفع حملا قدره 1,5 t بسرعة رفع مقدارها 6 m/min.

١٨ – ٣١ احسب الزمن اللازم لتشغيل مضخة قدرتها 0,5 kW لتسحب $80\ m^3$ من الماء من قبو مغمور بالمياه (ارتفاع الرفع 3 m)؟

١٨ – ٣٢ كم مترا مكعبا من الماء يجب امداده لتوربين ما في كل ثانية من مسقط مياه ارتفاعه 4,50 m لكي يولّد قدرة 600 kW؟

١٨ – ٣٣ سحب مولد كهربائي $P_1=5,5$ kW عند عمود الادارة وأعطى $P_2=4,5$ kW عند لوحة التوزيع. ما مقدار كفايته؟

١٨ – ٣٤ يرفع مصعد كهربائي حملا قدره 1 t في زمن 0,5 min إلى ارتفاع 18 m ويستهلك أثناء ذلك قدرة مقدارها 11 kW.
ما مقدار كفاية تجهيزة المصعد؟

١٨ – ٣٥ احسب قيم القدرة الناقصة بالجدول:

| | أ | ب | جـ | د |
|---|---|---|---|---|
| القدرة المعطاة ($P_i$) | 10 kW | 6 kW | 5,5 kW | ? |
| القدرة المستفادة ($P_o$) | ? | ? | 4,75 kW | ? |
| الفقد في القدرة ($P_l$) | ? | 0,8 kW | ? | 1,2 kW |
| الكفاية ($\eta$) | 0,85 | ? | ? | 0,7 |

١٨ – ٣٦ أكمل المعطيات لتجهيزات المحركات طبقا للجدول:

| | أ | ب | جـ | د |
|---|---|---|---|---|
| القوة المستفادة (F) | 500 N | 6,0 kN | ? | 720 N |
| مسافة تأثير القوة (s) | 1,50 m | 14 m | 12 m | ? |
| الشغل (W) | ? | ? | ? | 3,6 kNm |
| الزمن (t) | 2 s | ? | 3 min | ? |
| القدرة المستفادة $P_o$ (Nm/s) | ? | ? | ? | 450 Nm/s |
| $P_o$ (kW) | ? | 5,5 kW | ? | ? |
| الفقد بالواط (W) | ? | ? | 1200 W | ? |
| القدرة المعطاة $P_i$ (kW) | 0,5 kW | ? | ? | ? |
| الكفاية ($\eta$) | ? | 0,88 | ? | 0,6 |

١٨ – ٣٧ تتغير القدرة المستفادة من محرك كهربائي حسب التحميل مع السرعة الدورانية، ويمكن تعيين $P_o$ لكل سرعة دورانية للمحرك عن طريق قياس عزم الفرملة. أكمل البيانات الناقصة بالجدول:

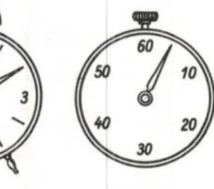
| | أ | ب | جـ | د |
|---|---|---|---|---|
| قوة الفرملة (F) | 10 N | 43 N | 95,5 N | 95,5 N |
| ذراع الرافعة (r) | 0,955 m | 95,5 cm | 1m | 85 cm |
| السرعة الدورانية (n) | 2 750 | 1 380 | 900 | 1 420 |
| القدرة المستفادة $P_o$ (kW) | ? | ? | ? | ? |

١٨ – ٣٨ احسب قدرة محرك يعطي عزم دوران قدره 10 Nm لعمود الإدارة عند 2 865 دورة في كل دقيقة.

١٨ – ٣٩ كم كيلوواط يمكن أن ينقلها سير إدارة (مقطعه 80 mm × 7 mm، ويمكن تحميله بحد أقصى قدره $120\ N/cm^2$)؟ تدور البكرة (d=220 mm) بسرعة 960 r.p.m.

## دقة القياس وعدد الخانات

**تعتبر دقة القياس شرطا أساسيا لدقة الحساب**

مثال : قيس زمن قدره 2h بواسطة ساعة منبه ، ثم استعملت ساعة إيقاف لقياس زمن قدره 14,3 s فيكون مجموع الزمن كما يلي :

$2\,h + 14{,}3\,s = 2 \cdot 3\,600\,s + 14{,}3\,s = 7\,214{,}3\,s$ (???) .

يظهر حاصل الجمع هذا أن دقة القياس لا يمكن الحصول عليها من ساعة المنبه . يجب المطابقة بين دقة الحساب ودقة القياس عند تقييم القياسات . وبالنسبة للقياسات الكهربائية يكفي الحساب بثلاثة أرقام (يتراوح الخطأ في حدود 1%) . أمثلة عددية : (١) 0,00136 (٢) 0,0136 (٣) 0,136 (٤) 1,36 (٥) 13,6 (٦) 136 (٧) 1360 (٨) 13 600 ... وهكذا .

يحذف الرقم الرابع وما يليه من أرقام أو يستبدل بأصفار ، إذا كان الرقم الرابع 0 أو 1 أو 2 أو 3 أو 4 .
أما إذا كان الرقم الرابع 5 أو 6 أو 7 أو 8 أو 9 فيرفع الرقم الثالث بمقدار 1 ، وتحذف الأرقام التالية أو تستبدل بأصفار .

مثال : $13{,}549 \approx 13{,}5$

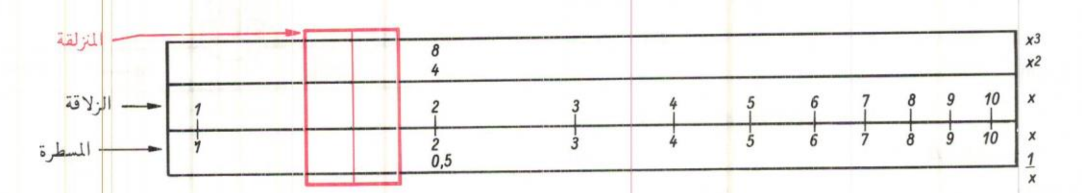
$13{,}550 \approx 13{,}6$

$13{,}650 \approx 13{,}7$

$13{,}651 \approx 13{,}7$

## المسطرة الحاسبة

يمكن قراءة ثلاثة أرقام بدقة في الضرب والقسمة باستعمال المسطرة الحاسبة .




| | | |
|---|---|---|
| الضرب (مثال 3·2) | تضبط نهاية الزلاقة (1 أو 10) فوق العدد الأول على المسطرة | تحرك المنزلقة وتضبط على العدد الثاني فوق الزلاقة ، ثم تقرأ النتيجة تحت العدد الثاني على المسطرة . |
| القسمة (مثال 2÷3) | تضبط المنزلقة فوق العدد المقسوم ثم تحرك الزلاقة حتى ينطبق العدد المقسوم عليه على شعرة المنزلقة فوق العدد الأول . | ثم تقرأ النتيجة تحت نهاية الزلاقة (1 أو 10) . |

(١) يمكن إجراء جميع عمليات الضرب والقسمة باستخدام نهاية واحدة فقط للزلاقة . جرب ذلك بنفسك .

(٢) لاحظ التدريجات أثناء قراءة الرقم الثالث : على اليسار 1/100 ، في الوسط 2/100 على اليمين 5/100 .

(٣) احسب بتتابع الأرقام فقط . حدد مرتبة العدد بعد ذلك بعملية تحقيق قصيرة .

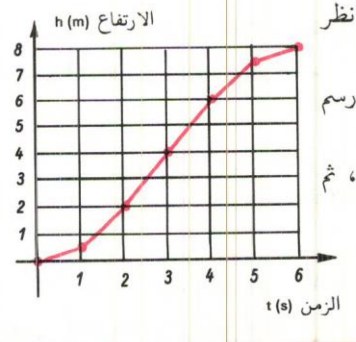
مثال : $12{,}9 \cdot \pi = ?$ $\quad (1-2-9)\cdot(3-1-4) = (4-0-5)$ $\underline{40{,}5}$

وذلك لأن $12{,}9 \cdot \pi > 10 \cdot 3$

(٤) تقرأ الأعداد التكعيبية $x^3$ والأعداد التربيعية $x^2$ ومقلوب العدد $\frac{1}{x}$ ... إلخ مباشرة بواسطة المنزلقة .

(٥) تقرأ الجذور التكعيبية من تدريج $x^3$ إلى تدريج x والجذور التربيعية من تدريج $x^2$ إلى تدريج x (لمرتبة العدد انظر اللوحة ١١) .

## المنحنيات الخصائصية (البيانية)




(١) يفضل عادة تسجيل القياسات أو الحسابات ذات النوعية المتماثلة كمنحنيات (انظر الشكل) . المميزات : تعطي تعبيرا شاملا وتتطلب مجهودا أقل كما يمكن قراءة القيم البينية .

(٢) يحدد نطاق المنحنى على ورق مقسم مربعات بواسطة تقاطع محورين كل منهما بمقياس رسم معين . وتوقع وحدات الكمية المعطاة أفقيا ووحدات الكمية المطلوب إيجادها رأسيا .

(٣) تعطي كل نتيجة نقطة على المنحنى . مثال : يصعد مصعد مسافة 0,5 m في زمن قدره 1s ، ثم يصعد مسافة 2 m بعد زمن قدره 2s ... إلخ . توصل النقط ببعضها بواسطة المسطرة .

(٤) تعطي الكميات التي بينها تناسب طردي منحنى خصائصيا خطيًا ويمكن تحديده بواسطة نقطتين فقط .

## تمرينات

١٩ – ١ مامقدار الخطأ في المائة عند التقريب إلى ثلاثة أرقام في المسائل التالية :
أ ) 10,0 ≈ 10,05 الخطأ = %؟
ب ) 100 ≈ 99,95 الخطأ = %؟
جـ ) 1,00 ≈ 1,005 الخطأ = %؟
د ) 10,0 ≈ 9,995 الخطأ = %؟

ملاحظة : يمكن أن يزداد الخطأ المئوي بقدر كبير عند الطرح ، لذا تراعى الدقة في الحساب .

مثال : يبين المثال التالي المقارنة بين نسبة الخطأ في الرقمين 20,05 و 20,00 وهو $\frac{1}{4}$% ، أما بعد الطرح فيزداد الخطأ إلى 5% .

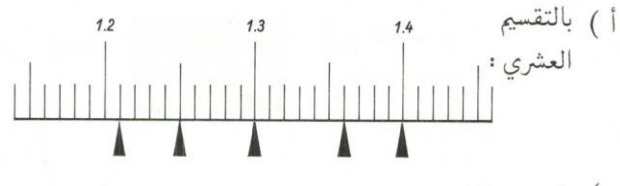
20,05 − 19 = 1,05
20,00 − 19 = 1,00
(5%)      ($\frac{1}{4}$%)

١٩ – ٢ اكتب الأعداد التالية بالتقريب أو الحذف في ثلاثة أرقام .

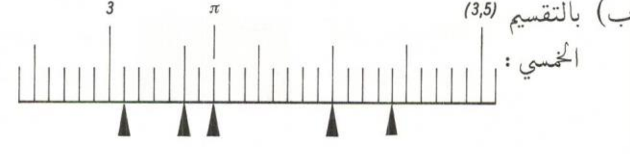
| | |
|---|---|
| أ ) 18,9275 ≈ ? | و ) 267877 ≈ ? |
| ب ) 305,822 ≈ ? | ز ) 30,0489 ≈ ? |
| جـ ) 0,32581 ≈ ? | ح ) 525700 ≈ ? |
| د ) 0,04255 ≈ ? | ط ) 0,40424 ≈ ? |
| هـ ) 0,4245 ≈ ? | ى ) 7265,00 ≈ ? |

١٩ – ٣ قم بالتمرين على قراءة ثلاثة أرقام متتابعة على المسطرة الحاسبة .

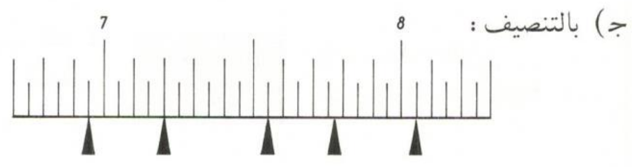
أ ) بالتقسيم العشري :




ب) بالتقسيم الخمسي :




جـ) بالتنصيف :




مثال : اضرب 777 × 244 .
خطوات الحل باستعمال المسطرة الحاسبة :
(١) توضع نهاية الزلاقة مقابل 4–4–2 على المسطرة .
(٢) تضبط المنزلقة على 7–7–7 على الزلاقة (إذا تعذر ذلك كرر الخطوتين بواسطة النهاية الأخرى للزلاقة) .
(٣) تبين المنزلقة 0–9–1 على المسطرة .
(٤) تدقيق مرتبة العدد 160 000 = 800 × 200 النتيجة : <u>190 000</u>
ينصح عند بدء التدريب على المسطرة الحاسبة بتدقيق كل قراءة وذلك بإعادة الحساب .

١٩ – ٤ اجر عمليات الضرب التالية مستعملا المسطرة الحاسبة :

| | |
|---|---|
| أ ) 2,00 × 3,00 | و ) 6060 × 0,314 |
| ب ) 2,00 × 7,00 | ز ) 124 000 × 0,42 |
| جـ ) 19,3 × 17,1 | ح ) 534 × 2,25 |
| د ) 48,5 × 258 | ط ) 96,5 × 0,845 |
| هـ ) 1,83 × 0,374 | ى ) 0,088 × 0,436 |

مثال : اقسم (244÷777) مستعملا المسطرة الحاسبة .
(١) ضع المنزلقة على 4–4–2 على المسطرة .
(٢) اضبط الزلاقة عند 7–7–7 فوق الرقم السابق .
(٣) إقرأ الأرقام المتتابعة الموجودة تحت نهاية الزلاقة وهي 3–1–4 .
(٤) دقق مرتبة العدد : 0,25 = 800 ÷ 200 .
النتيجة : <u>0,314</u>

١٩ – ٥ اقسم باستعمال المسطرة الحاسبة :

| | |
|---|---|
| أ ) 88,0 ÷ 2,00 | و ) 380 ÷ 1,73 |
| ب ) 155 ÷ 124 | ز ) 48400 ÷ 220 |
| جـ ) 8000 ÷ 372 | ح ) 8,25 ÷ 3600 |
| د ) 51,7 ÷ 269 | ط ) 0,911 ÷ 543 |
| هـ ) 785 000 ÷ 48,7 | ى ) 65 600 ÷ 0,746 |

## المنحينات الخصائصية

١٩ – ٦ استهلاك الطاقة في مصنع ما كما يلي :

| الشهر | يوليو | أغسطس | سبتمبر | أكتوبر | نوفمبر | ديسمبر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| kWh | 22 650 | 20 125 | 25 200 | 25 875 | 29 350 | 24 400 |

ارسم المنحني بحيث يمثل المحور الأفقي الأشهر : مقياس الرسم هو : 20 mm تناظر شهرًا واحدًا . يمثل المحور الرأسي استهلاك الطاقة من 20 000 kWh إلى 30 000 kWh . مقياس الرسم : 1 mm ≙ 100 kWh (الدقة حتى $\frac{1}{4}$ mm) .

١٩ – ٧ يتناسب السعر والوزن طرديا في المنحنى البياني لسعر النحاس وهو 20 SR لكل 1 kg :
اكتب على المحور الأفقي القيم من 0 إلى 100 kg (1 mm ≙ 1 kg) ، وعلى المحور الرأسي القيم من 0 حتى 300 SR (1 mm ≙ 2 SR) وبتحديد نقطتين يمكن رسم المنحنى البياني الخطي الذي يبين السعر لأي وزن من النحاس .

١٠ – ٨ يعطي محرك عند التحميل الإسمي عزما دورانيا قدره 12 Nm . تتناسب قوة الشد عكسيا مع نصف قطر البكرة . ارسم المنحنى البياني طبقا للبيانات الواردة بالجدول .

| r (cm) | 6 | 8 | 12 | 16 | 24 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F (N) | 200 | 150 | 100 | 75 | 50 | 37,5 |

وقّع على المحور الأفقي القيم من 0 إلى 32 cm (نصف القطر 5 mm ≙ 1 cm) وعلى المحور الرأسي القيم من 0 إلى 200 N (5 mm ≙ 10 N) .

١٩ – ٩ يمكن قراءة خانتين للأعداد التربيعية والجذور التربيعية بدقة من المنحنى البياني على شكل قطع مكافئ معادلته : $y = x^2$ .
اكتب على المحور الأفقي : الأعداد من 1 إلى 10 (1 ≙ 10 mm) للمتغير x وعلى المحور الرأسي الأعداد من 1 إلى 100 (1 ≙ 1 mm) للمتغير y .

ارسم المنحنى البياني طبقا للجدول :

| $x=\sqrt{y}$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $y=x^2$ | 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 | 64 | 81 | 100 |

## كميات القياس في دوائر التيار المستمر :

الإلكترونات هي حاملات الظواهر الكهربائية (يعني نقصها وجود شحنة موجبة في حين تعني زيادتها وجود شحنة سالبة) . ويبلغ قطر الإلكترون 0,000 000 000 000 0564 mm وهذا يعني أنه لا يرى بعين الإنسان المجردة. ويتم التعرف على سلوك الإلكترونات وقوانين الكهرباء عن طريق القياس (يكون اتجاه التيار الكهربائي عكس اتجاه حركة الإلكترونات) .

ويقاس في دوائر التيار المستمر كل من :
الجهد الكهربائي
شدة التيار الكهربائي
المقاومة الكهربائية
القدرة الكهربائية
الشغل الكهربائي
وبقياس واحدة من تلك الكميات نحصل على نتيجة القياس وهي قيمة عددية ووحدة .



| القياس : | الكمية المقاسة : | توضيح : | الوحدة : | مضاعفات وأجزاء الوحدة : |
|---|---|---|---|---|
| | الجهد U | ميل الإلكترونات إلى التعادل بين نقطتي قياس (هو سبب سريان التيار الكهربائي) . | ڤولط V | كيلو ڤولط = kV<br>ملي ڤولط = mV |
| | شدة التيار I | تزيد بزيادة عدد الإلكترونات التي تمر في موصل ما كل ثانية ($6,3\cdot10^{18}$ إلكترون ≙ 1 A·s ≙ أمبير ثانية) . | أمبير A | ملي أمبير = mA<br>ميكرو أمبير = µA |
| | المقاومة R | قدرة موصل التيار على إعاقة تدفق الإلكترونات . | أوم Ω | كيلو أوم = kΩ<br>ميجا أوم = MΩ |
| | القدرة P | تتحول القدرة الكهربائية عن طريق كبح الإلكترونات إلى قدرة حرارية أو ميكانيكية . | واط W | كيلو واط = kW<br>ميجاواط = MW |
| | الشغل W | يسجل العداد حاصل ضرب القدرة الكهربائية في زمن التشغيل لحساب الشغل المستهلك . | واط ثانية Ws | واط ساعة = Wh<br>كيلو واط ساعة = kWh |

## قراءة التدريجات




التدريج معاير بالڤولط

يشير المؤشر إلى قيمة القياس على تدريج جهاز القياس. ويمكن القراءة مباشرة بمعايرة التدريج بوحدات القياس (قيمة القياس = نتيجة القياس) ، ويتم اختيار المجال المناسب من مجالات القياس العديدة في أجهزة القياس المتعددة الأغراض. وهنا يقرأ على النحو التالي :

نتيجة القياس = قيمة القياس × قيمة جزء التدريج

$$\text{قيمة جزء التدريج} = \frac{\text{مجال القياس}}{\text{العدد الأخير في التدريج}}$$

0 1 2 3

(علامات التدريج - TS)

تدريج لجهاز متعدد القياسات

مثال : مجال القياس 6 V وعدد أجزاء التدريج 3 وقيمة القياس 1,7 جزء تدريج
قيمة جزء التدريج : 6 V ÷ 3 = 2 V
نتيجة القياس : 1,7 · 2 V = 3,4 V

## تمرينات

٢٠ – ١ أ) كم ڤولطا تساوي 150 kV؟
ب) كم ملي ڤولطاً تساوي 0,0004 V؟
ج) حول 27 000 mV إلى كيلوڤولط kV !
(ارشاد لحل: للتحويل من kV إلى V ثم إلى mV تزاح الفاصلة العشرية)

٢٠ – ٢ اكتب بطريقة مختصرة:
أ) 380 000 V ب) 0,007 V ج) 0,000 002 kV

٢٠ – ٣ تولّد خلية ضوئية جهدا تبعا لشدة الإضاءة يتراوح بين 0 و 40 mV، ما مقدار ذلك بالڤولط؟

٢٠ – ٤ تولّد مزدوجة حرارية جهدا قدره 27,7 mV عند درجة حرارة 500°C . كم ڤولطًا يساوي هذا الجهد؟

٢٠ – ٥ اوجد القيم الناقصة بالجدول التالي:

| | أ | ب | ج | د | ه | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kV | 10 | 0,75 | – | – | ? | ? | 12,5 |
| V | ? | ? | ? | ? | 5 250 | 400 | ? |
| mV | – | – | 125 | 15 | – | – | – |

٢٠ – ٦ أ) كم kV يساوي $1,2 \cdot 10^{6}$ V ؟
ب) كم mV يساوي $40 \cdot 10^{-3}$ V ؟
(تزاح الفاصلة العشرية تبعا لقوى العشرة)

٢٠ – ٧ ما مقدار شدة التيار 0,9 mA مقاسة بالأمبير؟

٢٠ – ٨ حوّل تيار التحكم في حاجز إضاءة (300 µA) إلى أمبير.

٢٠ – ٩ اختر طريقة مختصرة لكتابة كل من:
أ) 0,000 02 A ب) 85 000 mA ج) 2 100 000 µA
د) 0,0075 mA ه) 0,0822 A و) 0,000 000 06 A

٢٠ – ١٠ اوجد القيم الناقصة بالجدول التالي:

| | أ | ب | ج | د | ه | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1,25 | ? | – | 0,073 | – | – | 0,07 |
| mA | ? | 75 | ? | ? | 0,52 | ? | ? |
| µA | ? | ? | 3 250 | ? | ? | 450 | ? |

٢٠ – ١١ اوجد قيمة التيار الكلي:

$0,4\ A + 80\ 000\ \mu A + 0,007\ A + 33\ mA = ?mA$

٢٠ – ١٢ أ) حوّل $5,5 \cdot 10^{6}$ µA إلى A .
ب) كم mA تساوي $400 \cdot 10^{-6}$ A

٢٠ – ١٣ تلزم المقاومات التالية لإصلاح جهاز استقبال إذاعي. أوجد مقاديرها بالأوم:
أ) 40 kΩ ب) 0,16 kΩ ج) 1,2 MΩ د) 0,3 MΩ

٢٠ – ١٤ اكتب أنسب صورة للتعبير عن المقادير الآتية:
أ) 63 000 Ω ب) 2 500 000 Ω ج) 0,0008 Ω .

٢٠ – ١٥ اوجد القيم الناقصة في الجدول التالي:

| | أ | ب | ج | د | ه | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MΩ | – | – | 2,4 | 0,56 | ? | 0,02 | – |
| kΩ | ? | 1,2 | ? | ? | ? | ? | 13,5 |
| Ω | 880 | ? | ? | ? | 45 000 | ? | ? |

٢٠ – ١٦ إقرأ القياسات الخمسة بالڤولط:

0 V 100 V 200 V 300 V

٢٠ – ١٧ اقرأ القياسات الخمسة بالأمبير:

0 A 10 A 20 A 30 A 40 A 50 A 60 A

٢٠ – ١٨ ينقسم تدريج جهاز قياس متعدد الأغراض إلى 30 قسم تدريج. اوجد قيمة قسم التدريج ونتائج القياس الخمس لكل مجال قياس:

0 10 20 30

| | مجال القياس | قيمة جزء التدريج | النتائج الخمس |
|---|---|---|---|
| أ ) | 300 V | ? | ? |
| ب) | 60 V | ? | ? |
| ج) | 12 V | ? | ? |
| د ) | 3 V | ? | ? |
| ه ) | 12 A | ? | ? |
| و ) | 3 A | ? | ? |
| ز ) | 0,6 A | ? | ? |
| ح) | 0,12 A | ? | ? |

٢٠ – ١٩ يراد قراءة خمسة قياسات بجهاز قياس متعدد الأغراض ذي تدريج واحد مقسم إلى 50 قسم تدريج يقرأ لمجال قياسات مختلفة. أكمل الجدول.

0 10 20 30 40 50

| | مجال القياس | قيمة جزء التدريج | النتائج الخمس |
|---|---|---|---|
| أ ) | 500 V | ? | ? |
| ب) | 125 V | ? | ? |
| ج) | 25 V | ? | ? |
| د ) | 10 V | ? | ? |
| ه ) | 10 A | ? | ? |
| و ) | 2 A | ? | ? |
| ز ) | 0,5 A | ? | ? |
| ح) | 0,1 A | ? | ? |

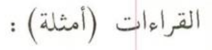
٢٠ – ٢٠ يلزم تعيين قيمة قسم التدريج ونتائج القياس لجميع مجالات القياس لجهاز قياس متعدد الأغراض ومقسم إلى 30 قسم تدريج. أكمل الجدول.

0 1 2 3

| | مجال القياس | قيمة جزء التدريج | النتائج الخمس |
|---|---|---|---|
| أ ) | 600 V | ? | ? |
| ب) | 120 V | ? | ? |
| ج) | 30 V | ? | ? |
| د ) | 6 V | ? | ? |
| ه) | 6 A | ? | ? |
| و ) | 1,2 A | ? | ? |
| ز ) | 0,3 A | ? | ? |
| ح) | 0,06 A | ? | ? |

## حساب قيم فرق الجهد U والتيار I والمقاومة R

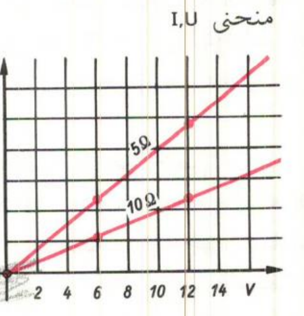
التوصيل




القراءات (أمثلة) :

| | U | I | R |
|---|---|---|---|
| 1 | 6 V | 0,6 A | 10 Ω |
| 2 | 12 V | 1,2 A | 10 Ω |
| 3 | 6 V | 1,2 A | 5 Ω |
| 4 | 12 V | 2,4 A | 5 Ω |

منحنى I,U




إذا ما أبعدت جميع التجهيزات والتوابع عن أي جهاز كهربائي فيبقى فيه موصل على شكل لفات فقط ، أي مقاومة كهربائية .

ملاحظة : تعني كلمة «مقاومة كهربائية» إحدى ثلاثة مفاهيم :
١) ظاهرة أن موصل التيار يعوق تدفق الإلكترونات (المقاومة المادية) .
٢) جهاز يستفاد من مقاومته .
٣) قيمة مقاومة الجهاز R مقاسة بالأوم .

وطبقا للمواصفات القياسية فإن : 1أوم = 1 ڤولط لكل أمبير . وهذا يعني أنه : إذا مر تيار 1A في الجهاز فإن جهد التوصيل U بالڤولط يجب أن يتساوى تماما في المقدار مع مقاومة الجهاز R بالأوم أي أن فرق الجهد U يتناسب طرديا مع شدة التيار I . فإذا مر تيار قدره I بدلا من 1A ، يلزم جهد قدره (التيار I مضروبا في المقاومة R) :

| | | |
|---|---|---|
| $U=I\cdot R$ | الجهد = شدة التيار × المقاومة | بوحدات V و A و Ω |

مثال : ما مقدار جهد التوصيل اللازم لفرن تسخين مقاومته 110 Ω ليمر تيار 2 A في سلك التسخين؟
الحل : $U=I\cdot R=2\,A\cdot 110\,\Omega=220\,V$

بقسمة طرفي المعادلة على R وبنقل I إلى اليسار ، نحصل على :

$$\frac{U}{R}=\frac{I\cdot R}{R}$$

| | |
|---|---|
| شدة التيار = الجهد / المقاومة | $I=\frac{U}{R}$ |

تتلف منابع الجهد والأجهزة الكهربائية وأجهزة القياس وخطوط التوصيل إذا ما تعدى التيار قيمته الإسمية المسموح بها . ويمكن بواسطة الصيغة الرياضية للتيار حساب شدة التيار قبل توصيل الدائرة وبذلك نتفادى التحميلات الزائدة لدائرة التيار . تتناسب شدة التيار طرديا مع الجهد U وعكسيا مع المقاومة R . انظر المنحنى الخصائصي العلوي للعلاقة بين I و U .

بقسمة طرفي المعادلة على I ، وبنقل R إلى اليسار نحصل على :

$$\frac{U}{I}=\frac{I\cdot R}{I}$$

| | |
|---|---|
| المقاومة = الجهد / شدة التيار | $R=\frac{U}{I}$ |

تتيح لنا الصيغة الرياضية للمقاومة حساب المقاومات المجهولة إذا علم كل من الجهد وشدة التيار (القياس غير المباشر للمقاومة) .

مثال : يستهلك مصباح 100 W تيارا قدره 0,425 A عند جهد قدره 235 V . احسب قيمة R .
الحل : $R=U\div I=235\,V\div 0{,}425\,A=553\,V/A$
$R=553\,\Omega$

ملاحظة : ينطبق قانون أوم فقط ، إذا ما قيست الكميات U و I و R لنفس المقاومة . ويجب أن تكون الكميات الجزئية أو الكلية عند الحساب بوحدات V و A و Ω .

## المواصلة الكهربائية G

المواصلة الكهربائية G هي القيمة العكسية للمقاومة R . ووحدتها :
سيمنز (S) = أمبير لكل ڤولط = واحد/أوم $(S=A/V=1/\Omega)$

$$G=\frac{1}{R}$$

$G=I\div U$

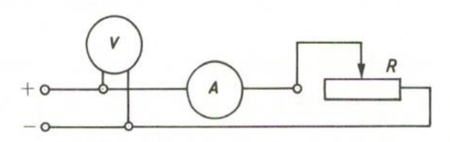
$I=G\cdot U$

مثال : جهاز مقاومته 50 Ω وصل بجهد قدره 100 V . احسب كلاً من G و I .

$G=\frac{1}{R}=\frac{1}{50\,\Omega}=0{,}02\,S$ $\quad I=\frac{U}{R}=U\cdot G=100\,V\cdot 0{,}02\,S=2\,A$

تمرينات

٢١ — ١ احسب كميات القياس الناقصة في الدائرة المرسومة :



| | المقاومة (R) | شدة التيار (I) | الجهد (U) |
|---|---|---|---|
| أ ) | 100 Ω | 2 A | ? |
| ب) | 60 Ω | 5 A | ? |
| جـ) | 16 Ω | 10 A | ? |
| د ) | 25 Ω | ? | 100 V |
| هـ) | 40 Ω | ? | 200 V |
| و ) | 50 Ω | ? | 400 V |
| ز ) | ? | 25 A | 1000 V |
| ح ) | ? | 6 A | 42 V |
| ط ) | ? | 0,5 A | 6 V |

حل الجزء (أ) كمثال : $U = I \cdot R = 2\,A \cdot 100\,\Omega = 200\,V$

٢١ — ٢ يسمح بتحميل جرس منزل مقامته قدرها 6 Ω بتيار قدره 1,5 A . ما مقدار الجهد المسموح به؟

٢١ — ٣ وصلت لفائف تسخين فرن كهربائي مقاومتها 55 Ω بمنبع جهد قدره 220 V . احسب شدة التيار : أ) لخط التغذية ، ب) لخط العودة .

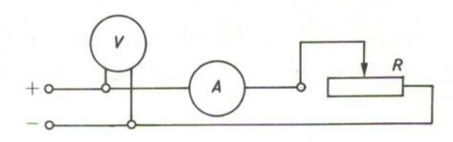
٢١ — ٤ اوجد قيمة المقاومة في دائرة التيار الموصلة على 220 V لكي لا ينصهر المصهر 10 A الموصل على التوالي؟

٢١ — ٥ تعطي بطارية سيارة ذات جهد 12 V عند بدء الإدارة 96 A . احسب المقاومة في دائرة التيار لبادئ التشغيل .

٢١ — ٦ يسمح بتحميل مقاومة اختبار قدرها 25 Ω بتيار قدره 2,5 A . كم ڤولطا يسمح بتوصيلها على المقاومة؟

٢١ — ٧ يسحب مصباح متوهج تيارا قدره 0,25 A عند جهد توصيل قدره 240 V . احسب مقاومة التشغيل للمصباح؟

٢١ — ٨ احسب الكميات المقاسة الناقصة بالجدول بدقة حتى ثلاثة أرقام :



| | المقاومة (R) | شدة التيار (I) | الجهد (U) |
|---|---|---|---|
| أ ) | 166 Ω | ? | 127 V |
| ب) | 148 Ω | 2,45 A | ? |
| جـ) | 77,2 Ω | ? | 42 V |
| د ) | ? | 0,89 A | 228 V |
| هـ) | 3250 Ω | 0,032 A | ? |
| و ) | ? | 0,667 A | 6,3 V |
| ز ) | 0,12 Ω | 33,4 A | ? |
| ح ) | 933 Ω | ? | 382 V |

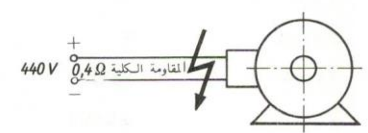
مثال : وضع مصهر أمان 6 A في دائرة تيار لمنزل موصلة بجهد قدره 220 V . ما قيمة المقاومة التي تمنع استجابة المصهر؟

الحل : $U = 220\,V;\ I = 6\,A;\ R = ?\,\Omega$

$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{6}\,\Omega = 36{,}7\,\Omega$ (بالتقريب حتى 3 أرقام)

٢١ — ٩ احترق سلك تسخين ذو مقاومة قدرها 18 Ω عند تيار قدره 16 A . ماقيمة الجهد الذي تسبب في انصهاره .

٢١ — ١٠ حدث قصر دائرة على لفائف محرك عند أطراف نهاياته بحيث أصبحت دائرة التيار تحتوي على مقاومة الكبل وقدرها 0,4 Ω فقط . احسب تيار دائرة القصر لجهد شبكة قدره 440 V .




٢١ — ١١ يوجد دائرة قصر في كبل التوصيل التالف لمكواة كهربائية . ما مقدار التيار المار عند جهد قدره 225 V إذا كانت مقاومة الموصل 0,3 Ω؟

٢١ — ١٢ يستهلك موصل نحاسي NYA جهدا قدره 2,5 V عند تيار قدره 10 A ما مقدار مقاومته؟

٢١ — ١٣ ما مقدار المقاومة الأومية لفتيلة إضاءة في المصباح الخلفي لدراجة علما بأن البيانات 6 V/0,05 A مطبوعة على قاعدته .

٢١ — ١٤ تتغير مقاومة التشغيل لموقد طهي موصل بجهد قدره 220 V تبعا لوضع المفتاح :

| وضع المفتاح | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| المقاومة | ∞ | 220 Ω | 60,5 Ω | 32,2 Ω |

احسب شدة التيار في كل حالة .

٢١ — ١٥ اوجد قيمة التيار الذي يسحبه مشع حراري مقاومته 16 Ω وموصل بجهد قدره 110 V؟

٢١ — ١٦ وصلت لفيفة تسخين 60 V/0,5 A بطريق الخطأ بجهد قدره 220 V .

أ ) احسب مقاومة اللفيفة .

ب) ما مقدار التيار المار عند جهد قدره 220 V؟

جـ) ما النتيجة المترتبة على ذلك بالنسبة للفيفة؟

٢١ — ١٧ احسب قيمة التيار المسحوب من لفيفة تسخين مقاومتها 24 Ω للجهود الإسمية التالية :

| أ | ب | جـ | د | هـ | و | ز |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 V | 40 V | 60 V | 80 V | 110 V | 125 V | 220 V |

٢١ — ١٨ طبقا لتعليمات التركيب لشركة الكهرباء لا يجوز أن يستهلك موصل الإنارة أكثر من 3,3 V . اوجد المقاومة المسموح بها إذا أعد مصهر الأمان على أساس تيار قدره 16 A؟

٢١ — ١٩ احسب التيار المسحوب في الحالات التالية :

أ ) لإضاءة سيارة 6 V/0,4 Ω .

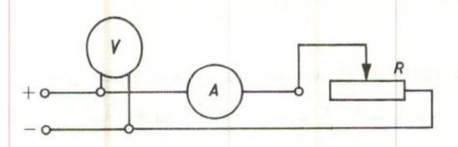
ب) لبادئ تشغيل سيارة 6 V/0,036 Ω .

جـ) عصّارة غسيل بالطرد المركزي 220 V/480 Ω .

د ) لمسخن مياه 220 V/8 Ω .

## الـكميات الجزئية والـكميات الـكلية

٢١ — ٢٠ احسب كميات القياس الناقصة بالتقريب لثلاثة أرقام :



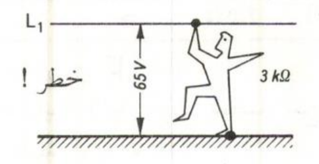

| | الجهد (U) | شدة التيار (I) | المقاومة (R) |
|---|---|---|---|
| أ ) | ? | 50 mA | 5 kΩ |
| ب) | 0,5 kV | 1,5 A | ? |
| جـ) | 380 V | 200 μA | ? |
| د ) | ? | 78 mA | 33 Ω |
| هـ ) | 0,66 kV | ? | 0,8 MΩ |
| و ) | 480 mV | 0,7 A | ? |
| ز ) | ? | 240 μA | 1,9 MΩ |
| ح ) | ? | 630 A | 750 mΩ |
| ط ) | 930 mV | 140 μA | ? |

مثال :
تعطي بطارية جهدها 24 V تيارا قدره 9 mA . ما مقدار المقاومة الموصلة في دائرة التيار؟

الحل : $U = 24\ V;\ I = 0{,}009\ A;\ R = ?\ \Omega$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{24}{0{,}009}\Omega = \frac{24000}{9}\Omega = \underline{2670\ \Omega} = 2{,}67\ k\Omega$$

٢١ — ٢١ تعتبر قيمة الجهد 65V كجهد تلامس خطر طبقا لتعليمات VDE 0100 وتقدر مقاومة جسم الإنسان بمقدار 3 kΩ :




كم ملي أمبير تمر في جسم الإنسان وتعتبر خطرة عند ذلك الجهد؟

٢١ — ٢٢ يسحب ڤولطمتر تيارا قدره 9,5 mA عند قراءة جهد قدره 380 V . ما مقدار مقاومة الجهاز؟

٢١ — ٢٣ مُرحِّل (ريليه Relay) مقاومته 120 Ω يعمل عند تيار قدره 36 mA . ما مقدار الجهد المطلوب؟

٢١ — ٢٤ يبين أمبيرمتر ذو مقاومة داخلية مقدارها 60 mΩ عند الانحراف التام قراءة قدرها 3 A . مامقدار الجهد الذي يستهلكه جهاز القياس؟

٢١ — ٢٥ يراد توصيل مقاومة تجارب قدرها 2,5 kΩ (يمكن تحميلها بتيار قدره 300 mA) بجهد قدره 80 V . أوجد شدة التيار المتوقعة؟

٢١ — ٢٦ يُفقد جهد قدره 400 mV عند طرف مسمار ملولب غير محكم الربط ، عند التحميل بتيار قدره 16 A . أوجد قيمة مقاومة التلامس؟

٢١ — ٢٧ يمر تيار قدره 20 μA خلال خلية ضوئية معرَّضة للضوء عند توصيلها بجهد قدره 90 V . احسب المقاومة الداخلية للخلية الضوئية .

٢١ — ٢٨ نشأت مقاومة تلامس قدرها 50 mΩ نتيجة لعدم إحكام ربط مسمار حامل للتيار في لوحة توزيع . ما مقدار هبوط الجهد عند موضع التلامس إذا مر به تيار قدره 80 A ؟

٢١ — ٢٩ يراد اختبار مقاومة عزل عند جهد اختبار قدره 3 kV فإذا قيس تيار التسرب وكان مقداره 200 μA ، أوجد قيمة المقاومة؟

٢١ — ٣٠ جهاز لاسلكي به مقاومة قدرها 1,5 MΩ موصَّلة بجهد قدره 200 V . أوجد شدة التيار المار بها .

٢١ — ٣١ يلزم أن تصل مقاومة عزل منشأة كهربائية 220 kΩ على الأقل عند جهد قدره 220 V . وعند جهد اختبار قدره 500 V بين سلكين (غير موصلين بالشبكة وبدون توصيل حمل) كان تيار التسرُّب قدره 800 μA . احسب مقاومة العزل ، هل هي كافية؟

٢١ — ٣٢ وصِّل كبل تيار مستمر ذو مقاومة عزل قدرها 4 MΩ بجهد قدره 6 kV . ما مقدار تيار التسرُّب المار خلال العازل؟

٢١ — ٣٣ احسب القيم الناقصة بالجدول طبقا لقانون أوم .

| | I(A) | U(V) | R (Ω) |
|---|---|---|---|
| أ ) | ? | $2\cdot10^3$ | $5\cdot10^3$ |
| ب) | 26 | ? | $1\cdot10^2$ |
| جـ) | $3\cdot10^2$ | $2{,}2\cdot10^5$ | ? |
| د ) | ? | $4{,}4\cdot10^2$ | 80 |
| هـ ) | ? | $15\cdot10^3$ | $3{,}5\cdot10^2$ |
| و ) | $4\cdot10^{-2}$ | $3{,}8\cdot10^5$ | ? |
| ز ) | $1{,}8\cdot10^{-6}$ | ? | $6\cdot10^3$ |
| ح ) | $5{,}5\cdot10^{-5}$ | $40\cdot10^{-3}$ | ? |
| ط ) | ? | $4\cdot10^3$ | $1{,}33\cdot10^6$ |

## التغيُّرات في القيم والمنحنيات الخصائصية .

٢١ — ٣٤ وصلت مقاومة قدرها 120 Ω بجهد قدره 60 V . اوجد زيادة شدة التيار بالأمبير إذا رفع الجهد :
أ) بمقدار 50% ب) بمقدار 75% جـ) بمقدار 100%

٢١ — ٣٥ يمر تيار قدره 825 mA في دائرة كهربائية . فإذا زاد جهد المنبع إلى أربعة أمثاله ، احسب شدة التيار عند ثبات المقاومة .

٢١ — ٣٦ وصّل سلك تسخين ذو مقاومة ثابتة بجهود مختلفة على التوالي :

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U (V) | 50 | 100 | 150 | 250 | 25 | 10 | 5 |
| I (A) | 11,3 | 22,6 | ? | ? | ? | ? | ? |

أ ) احسب النسبة العددية لتغيُّر الجهد من الجدول (1 إلى 2 إلى 3 إلخ)
ب) ما النسبة العددية الواجب وجودها بين التيارات .
جـ) أوجد قيم التيارات الناقصة .

٢١ – ٣٧ يمر تيار قدره 810 mA خلال مقاومة ذات قيمة أومية ثابتة. احسب التيار I عند رفع الجهد:

أ) بنسبة 1:2 (واحد إلى اثنين)، ب) بنسبة 1:4 (واحد إلى أربعة)، ج) بنسبة 1:10 (واحد إلى عشرة).

٢١ – ٣٨ يحتوي المنحنى الخصائصي بين U و I للمقاومة 10 Ω (انظر اللوحة ٢١) على محور أفقي لقيم الجهد. عين قيم التيار على المحور الرأسي لكل من القيم المناظرة بالڤولط. دقق النتائج عن طريق الحساب I=U÷R.

مثال: حدد 2 ڤولط (إلى أعلى) حتى التقاطع مع المنحنى الخصائصي للمقاومة 10 Ω ثم اتجه (إلى اليسار) تجد المقدار 0,2 A.
البرهان: I = U ÷ R = 2 V ÷ 10 Ω = 0,2 A

٢١ – ٣٩ حل المسألة السابقة على المنحنى الخصائصي U و I للمقاومة 5 Ω (انظر اللوحة ٢١).

٢١ – ٤٠ عين الجهود المطلوبة لقيم التيارات الموضحة بالجدول على المنحنى الخصائصي U و I للمقاومة 5 Ω (انظر اللوحة ٢١):

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| التيار | 0,8 A | 1,2 A | 1,6 A | 2,5 A | 3,2 A |

برهن النتائج حسابيا.

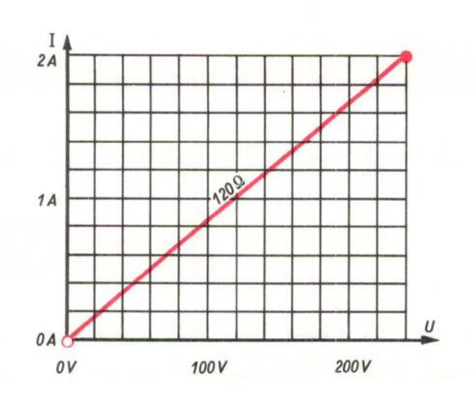
مثال على المنحنيات الخصائصية:
ارسم المنحنى الخصائصي بين U و I لمقاومة 120 Ω/2 A على ورق مربعات مليمتري.

الحل:

الجهد المسموح به: U = I · R = 2 A · 120 Ω = 240 V
المحور الأفقي من 0 V إلى 240 V (مقياس الرسم: 1 cm يناظر 20 V).

المحور الرأسي من 0 V إلى 2 A (مقياس الرسم: 1 cm يناظر 0,2 A).

ارسم نقطة تمثل التحميل المسموح به (عند 2 A, 240 V) ثم صل هذه النقطة بخط مستقيم مع نقطة الصفر. والآن يمكن قراءة جميع قيم U و I.




٢١ – ٤١ ارسم المنحنى الخصائصي للعلاقة بين U و I للمقاومة 300 Ω/1,3 A. استخرج بعض القيم من المنحنى ثم برهنها حسابيا.

٢١ – ٤٢ عند التمثيل البياني للكميات المتناسبة طرديا تنتج منحنيات خصائصية خطية فقط. أما المنحنيات الخصائصية الأخرى فتحدد نقطة بنقطة، ثم توصل هذه النقط بواسطة مسطرة أو مئطرة. ويمكن قراءة شدة التيار المقابلة لكل مقاومة مباشرة على المنحنى الخصائصي بين R و I للجهد 120 V (وبالعكس):

| R (Ω) | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I (A) | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1,5 | 1,2 | 1 |

اكتب تلك القيم على محاور متقاطعة، ثم صل بينها للحصول على المنحنى الخصائصي بين R و I للجهد 120 V, R إلى اليمين من 0 Ω إلى 20 Ω و I الى أعلى من 0 A إلى 6 A.

٢١ – ٤٣ وصّلت مقاومة متغيرة بجهد قدره 230 V وضبطت بالتتابع على قيم المقاومة التالية:
25 Ω – 50 Ω – 100 Ω – 250 Ω – 1000 Ω.

أ) اوجد جميع قيم شدة التيار بالأمبير عند هذه المقاومات.
ب) بيّن النسب العددية للقيم المتزايدة لشدة التيار. أوجد كذلك النسب المقابلة لقيم المقاومات.
ج) اوجد النسبة المئوية لزيادة شدة التيار إذا خفّضت المقاومة بنسبة 50%.

## G المواصلة الكهربائية

٢١ – ٤٤ عين مواصلة لفيفة ملف مقاومتها 20 Ω؟

٢١ – ٤٥ اوجد المواصلة بالسيمنز لسلك تحكم ذي مقاومة قدرها 25 Ω.

٢١ – ٤٦ عين مقدار تغير شدة التيار 6 A عند ثبات الجهد وزيادة: أ) المقاومة إلى ثلاثة أمثالها ب) المواصلة إلى ثلاثة أمثالها؟.

٢١ – ٤٧ احسب مقاومة كبل مواصلته 8 S.

٢١ – ٤٨ اوجد قيمة مواصلة ڤولطمتر مقاومته الداخلية 40 kΩ.

٢١ – ٤٩ ما مقدار مواصلة عزل كبل يسمح بتيار تسرب 1 mA عند جهد اختبار قدره 500 V؟

٢١ – ٥٠ حمّل كبل ذو مواصلة 1,7 S بتيار شدته 30 A. احسب هبوط الجهد في الكبل.

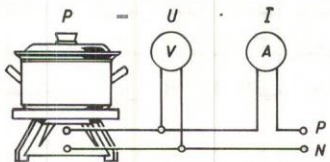
٢١ – ٥١ ما مقدار مواصلة مقاومة متغيرة مقدارها 100 Ω. والتي يكون:

أ) طولها بالكامل ب) 30% فقط من طول سلكها في دائرة التيار؟

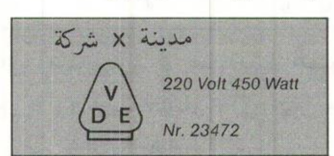
٢١ – ٥٢ احسب القيم الناقصة بالجدول

| أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 12,5 Ω | 20 kΩ | ? Ω | 0,0294 Ω | ? Ω | 15 mΩ |
| ? S | ? mS | 1,35 S | ? S | 56 S | ? S |

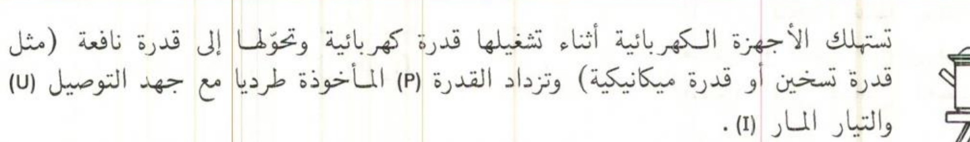
## الصيغ الرياضية للقدرة




لوحة البيانات للأجهزة :




يسحب الجهاز القدرة الإسمية المعطاة عند الجهد الإسمي فقط (لقدرة المحرك انظر أسفل الصفحة) .



تستهلك الأجهزة الكهربائية أثناء تشغيلها قدرة كهربائية وتحوّلها إلى قدرة نافعة (مثل قدرة تسخين أو قدرة ميكانيكية) وتزداد القدرة (P) المأخوذة طرديا مع جهد التوصيل (U) والتيار المار (I) .

| | |
|---|---|
| الوحدات : | 1 واط (W) = 1 ڤولط · 1 أمبير |
| الصيغة الرياضية : | $P = U \cdot I$ |
| | القدرة = الجهد × التيار |

وحدة الكميات الكبيرة : 1 كيلو واط = 1 kW = 1000 W = 1000 واط

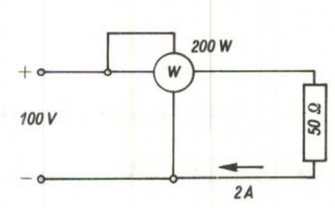
تبديلات : $I = P \div U$ لحساب التيار

$U = P \div I$ لحساب الجهد

وتصلح هذه الصيغ أيضا للتيار في أجهزة التدفئة والمصابيح المتوهجة .

## الصيغ الرياضية للقدرة وقانون أوم

مثال :




| التمرين | U | I | R | P | الخطوة الأولى للحل | الخطوة الثانية للحل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| أ | 100 V | 2 A | ? | ? | $R = U \div I = 50\ \Omega$ | $P = U \cdot I = 200\ W$ |
| ب | 100 V | ? | 50 Ω | ? | $I = U \div R = 2\ A$ | $P = U \cdot I = 200\ W$ |
| جـ | 100 V | ? | ? | 200 W | $I = P \div U = 2\ A$ | $R = U \div I = 50\ \Omega$ |
| د | ? | 2 A | 50 Ω | ? | $U = I \cdot R = 100\ V$ | $P = U \cdot I = 200\ W$ |
| هـ | ? | 2 A | ? | 200 W | $U = P \div I = 100\ V$ | $R = U \div I = 50\ \Omega$ |
| و | ? | ? | 50 Ω | 200 W | انظر أسفل | انظر أسفل |

إذا علمت كميتان مقاستان في الدائرة الكهربائية الموضحة فإنه يمكن حساب الكميتين الناقصتين باستعمال قانون أوم والصيغة الرياضية للقدرة .
أما في المسائل التي يرد فيها R و P فتلزم صيغ رياضية أخرى للقدرة (بالتبديل في الصيغ الرياضية المعلومة) :

| $P = \frac{U^2}{R}$ | $P = I^2 \cdot R$ |
|---|---|
| $P = U \cdot I$<br>$I = \frac{U}{R}$<br>$P = U \cdot \frac{U}{R}$<br>$P = U^2 \div R$ | $P = U \cdot I$<br>$U = I \cdot R$<br>$P = I \cdot R \cdot I$<br>$P = I^2 \cdot R$ |

$U^2 = P \cdot R$

$U = \sqrt{P \cdot R}$

$U = \sqrt{200 \cdot 50}\ V$

$U = \sqrt{10\,000}\ V$

$U = \underline{100\ V}$

$I^2 = P \div R$

$I = \sqrt{P \div R}$

$I = \sqrt{200 \div 50}\ A$

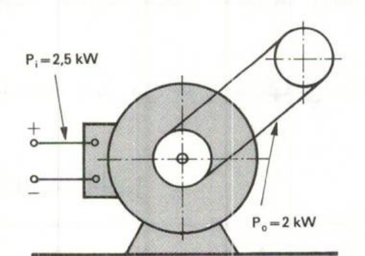
$I = \sqrt{4}\ A$

$I = \underline{2\ A}$

## الكفاية والقدرة الإسمية :

لكل جهاز كهربائي كفاية ويرمز لها بالرمز η (تنطق إيتا) (انظر اللوحة رقم ١٨)

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} < 1$$




القدرة الإسمية ($P_N$) لأجهزة التسخين : هي القدرة الكهربائية المعطاة ($P_i$) عند الجهد الإسمي والقدرة الإسمية ($P_N$) للمحركات : هي القدرة ($P_o$) الميكانيكية المستفادة عند أعلى تحميل مسموح به .

المثال المبيّن على اليمين : $\eta = \frac{2\ kW}{2{,}5\ kW} = 0{,}8$ ، أي أن القدرة المستفادة ≙ 80% .

تمرينات

٢٢ – ١ قيس جهد قدره 50 V وتيار شدته 2 A على مقاومة سلكية. اوجد قدرة التسخين للمقاومة؟

٢٢ – ٢ نسي سائق سيارة أن يطفئ الأضواء عند إيقافها. وكان حمل الإضاءة = 102 W. احسب شدة تيار البطارية لجهد أطراف 6 V؟

٢٢ – ٣ يمر تيار قدره 3 A في مسخن قدرته 1200 W. أوجد جهد توصيل المسخن.

٢٢ – ٤ احسب القدرة الإسمية ومقاومة التشغيل لمصباح متوهج يعمل بالبطارية مطبوع على قاعدته البيانات 2,5 V / 0,2 A.

٢٢ – ٥ اوجد الحمل (القدرة بالواط) المسموح بتوصيله في دائرة الإنارة التالية:

| | جهد الشبكة | المصهر | قيمة الحمل |
|---|---|---|---|
| أ ) | 220 V | 6 A | ? |
| ب) | 220 V | 10 A | ? |
| جـ) | 220 V | 16 A | ? |

٢٢ – ٦ احسب التيار المسحوب في الأجهزة طبقا للبيانات بالجدول:

| | الجهاز | القيم الإسمية | التيار |
|---|---|---|---|
| أ ) | كاوية لحام | 220 V/ 200 W | ? |
| ب) | مسخن غاطس | 220 V/ 500 W | ? |
| جـ) | مكواة | 220 V/ 800 W | ? |
| د ) | مشع تسخين | 220 V/ 1500 W | ? |
| هـ ) | مسخن مياه كهربائي | 220 V/ 4 kW | ? |

٢٢ – ٧ احسب للمصابيح المتوهجة الواردة بالجدول التالي:

أ ) شدة التيار عند الجهد الإسمي الكامل

ب) مقاومة فتيل الإضاءة المتوهج. قارن بين النتائج.

| | القيم الإسمية | شدة التيار | المقاومة |
|---|---|---|---|
| أ ) | 100 W/230 V | ? | ? |
| ب) | 25 W/230 V | ? | ? |
| جـ) | 5 W/ 24 V | ? | ? |
| د ) | 5 W/ 6 V | ? | ? |

٢٢ – ٨ تم تأمين خط توصيل لمقبس ذي مقاومة 0,2 Ω لتيار قدره 16 A كحد أقصى. احسب:

أ ) الجهد المستهلك في سلك التوصيل عند التحميل الكامل للتيار.

ب) القدرة التي تتحول الى حرارةفي سلك التوصيل الموجود تحت الملاط.

٢٢ – ٩ انفك (انحل) مسمار طرف ملولب في علبة التوزيع، بحيث نشأت مقاومة تلامس قدرها 350 mΩ عند نقطة الإتصال علما بأنه يمر في نقطة التوصيل الملولبة تيار قدره 15 A.

احسب:

أ ) الجهد المفقود في علبة التوزيع.

ب) قدرة التسخين غير المرغوب فيها عند نقطة الاتصال.

٢٢ – ١٠ قاطرة محملة تحميلا كاملا تعمل بالتيار المستمر على خط حديدي في مصنع تستهلك 0,8 MW عند 1,2 kV. احسب تيار الجر.

٢٢ – ١١ تعطي دائرة كهربائية القياسات التالية:

| | | | |
|---|---|---|---|
| P = 80 W | I = 2 A | U = 40 V | R = 20 Ω |

اوجد الأعداد الواجب وضعها، إذا:

أ ) ضوعف الجهد ب) رفع الجهد إلى ثلاثة أمثاله

جـ) خفض الجهد إلى النصف؟

٢٢ – ١٢ اوجد المقاومة التي يجب انتقاؤها للفيفة تسخين 500 W/110 V.

٢٢ – ١٣ يبين الواطمتر الموصل بمحرك محمل يعمل بالتيار المستمر 1,76 kW ويبين الأمبيرمتر القراءة 4 A تماما. ما مقدار مقاومة التشغيل للمحرك في هذه اللحظة؟

مثال:

ماهو التيار الواجب سريانه في مقاومة 100 Ω لكي تعطي قدرة تسخين قدرها 500 W؟

الحل: $R = 100\ \Omega;\ P = 500\ W;\ I = ?\ A;\ P = I^2 \cdot R$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{500}{100}}\ A = \sqrt{5}\ A = \underline{2{,}24\ A}$$

٢٢ – ١٤ اوجد أقصى شدة تيار يمكن تحميلها للمقاومات التالية:

| | | | |
|---|---|---|---|
| أ ) | 10 Ω/ 40 W | هـ ) | 1500 Ω/ 6 W |
| ب) | 1000 Ω/100 W | و ) | 25 Ω/ 4 W |
| جـ) | 500 Ω/ 25 W | ز ) | 1 MΩ/0,5 W |
| د ) | 1 MΩ/ 2 W | ح ) | 25 kΩ/0,1 W |

٢٢ – ١٥ احسب أقصى جهد توصيل مسموح به للمقاومات:

| | | | |
|---|---|---|---|
| أ ) | 10 Ω/ 10 W | هـ ) | 50 kΩ/ 4 W |
| ب) | 50 Ω/0,25 W | و ) | 2 kΩ/ 100 W |
| جـ) | 300 kΩ/ 0,5 W | ز ) | 30 Ω/ 2 W |
| د ) | 5 MΩ/ 0,1 W | ح ) | 10 Ω/0,25 W |

٢٢ – ١٦ احسب القيم الناقصة في الجدول التالي:

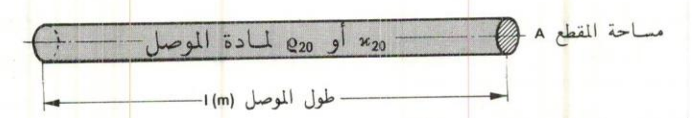
| | القدرة | شدة التيار | الجهد | المقاومة |
|---|---|---|---|---|
| أ ) | 3 W | ? | 0,4 kV | ? |
| ب) | 450 W | 750 mA | ? | ? |
| جـ) | ? | ? | 660 V | 3,3 MΩ |
| د ) | 28 kW | ? | 220 kV | ? |
| هـ ) | 250 mW | ? | ? | 1,8 MΩ |
| و ) | ? | $2 \cdot 10^2 A$ | $5 \cdot 10^3 V$ | ? |

٢٢ – ١٧ أخذت بيانات التشغيل لأقصى تحميل مستمر مسموح به من لوحة بيانات القدرة لمحرك قديم يعمل بالتيار المستمر: $P_N = 2{,}2\ kW,\ U_N = 440\ V,\ I_N = 6\ A$ احسب: أ) القدرة المعطاة بالواط، ب) الكفاية عند التحميل الإسمي.

٢٢ – ١٨ يعمل محرك تيار مستمر 4 kW/220 V عند التحميل الإسمي بفقد في القدرة بنسبة 20%. ما مقدار التيار الذي يسحبه حينئذ؟

٢٢ – ١٩ احسب القدرة المعطاة بالواط لمضخة تعمل بمحرك وتضخ 50 l من الماء في كل دقيقة لارتفاع أ) 3 m، ب) 12 m (انظر اللوحة ١٨)

يمكن قياس مقاومات الموصلات كهربائيا، كما يمكن حسابها أيضا بواسطة أبعادها في الفراغ بالاستعانة بثوابت المادة.




## الصيغة الرياضية للمقاومة باستخدام $\varrho_{20}$

(١) تزداد المقاومة R لموصل كهربائي بزيادة طول الموصل l (بالمتر =m)

(٢) تزداد المقاومة R كلما صغرت مساحة المقطع A (بالمليمتر المربع =$mm^2$)

(٣) تعتمد المقاومة R على نوع الموصل: قارن بين عينات طول كل منها 1 m ومساحة مقطعها $1\ mm^2$ والتي تسمى مقاومتها بالمقاومة النوعية $\varrho$ (Rho)

| |
|---|
| R تتناسب طرديا مع l |
| R تتناسب طرديا مع $\frac{1}{A}$ |
| R تتناسب طرديا مع $\varrho_{20}$ (مقاسة عند $+20°C$) |

يعطي سلك طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ قيمة المقاومة الأومية $\varrho$
ويعطي سلك طوله l ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ قيمة المقاومة الأومية $\varrho \cdot l$
كما يعطي سلك طوله l ومساحة مقطعه A قيمة المقاومة الأومية $\varrho \cdot l \div A$

$$R=\frac{\varrho_{20}\cdot l}{A}$$

$$\Omega=\frac{\Omega\ mm^2/m\cdot m}{mm^2}$$

وبتبديل الصيغة الرياضية نحصل على: $\varrho=\frac{R\cdot A}{l}$

ووحدتها هي: $\frac{\Omega\cdot mm^2}{m}$

## الصيغ الرياضية للمقاومة باستخدام $\varkappa_{20}$

(١) تعطى غالبا موصلية المادة $\varkappa_{20}$ (وتنطق كابا) بدلا من المقاومة النوعية $\varrho_{20}$. وهي تعبر عن عدد الأمتار اللازمة من سلك مساحة مقطعه $1\ mm^2$ لتبلغ مقاومته $1\ \Omega$.

(٢) مثال: سلك طوله متر واحد ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ ومقاومته $\varrho=1/56\ \Omega$ (وتنطق رو Rho) وتبلغ مقاومة 50 m من نفس نوع السلك ونفس المقطع $1\ \Omega$ (كابا $\varkappa$).

(٣) كابا ($\varkappa$) هي دائما القيمة العكسية للثابت رو ($\varrho$)، ومن القيمة العكسية هذه يمكن إيجاد وحدة القياس للموصلية $\varkappa$ وهي $\frac{m}{\Omega\cdot mm^2}$ أو $\frac{Sm}{mm^2}$.

(٤) بوضع $\varrho=\frac{1}{\varkappa}$ في الصيغة الرياضية للمقاومة نحصل على:

| المادة | $\varrho_{20}$ | $\varkappa_{20}$ |
|---|---|---|
| النحاس | 1/56 | 56 |
| الألومنيوم | 1/35 | 35 |
| الحديد | 1/8 | 8 |
| RW* 50 | 0,50 | 2 |

RW = Resistance Wire *

$$\varkappa=\frac{1}{\varrho_{20}} \qquad \varrho_{20}=\frac{1}{\varkappa}$$

$$R=\frac{l}{\varkappa\cdot A}$$

مثال عددي: احسب R لسلك من النحاس طوله 84 m ومساحة مقطعه $1,5\ mm^2$.

١ – طريقة الحل باستخدام $\varrho_{20}$: $R=\frac{\varrho_{20}\cdot l}{A}=\frac{1/56\cdot 84}{1,5}\ \Omega=\frac{1,5}{1,5}\ \Omega=\underline{1\ \Omega}$

٢ – طريقة الحل باستخدام $\varkappa_{20}$: $R=\frac{l}{\varkappa_{20}\cdot A}=\frac{84}{56\cdot 1,5}\ \Omega=\frac{84}{84}\ \Omega=\underline{1\ \Omega}$

## اختيار المقطع

يجب أن تكون مقاطع الموصلات المحسوبة بواسطة الصيغتين الرياضيتين $A=\frac{\varrho_{20}\cdot l}{R}$ أو $A=\frac{l}{\varkappa_{20}\cdot R}$ كافية لقيم التيار المحسوبة عليه.

تختبر موصلات التيار العالي (القوي) بالاستعانة بجداول التحميل (VDE 0100). فتصمم أسلاك المقاومات واللفائف تبعا لكثافة التيار S (انظر يسارا) وهي تعطينا التيار المسموح بمروره بالأمبير خلال مقطع موصل مساحته $1\ mm^2$.

| كثافة التيار (S): $S=\frac{I}{A}\ (\frac{A}{mm^2})$ | |
|---|---|
| الملفات | من 2 إلى 6 |
| بوادئ الحركة | من 5 إلى 10 |
| أسلاك التسخين | من 10 إلى 30 |
| | $A/mm^2$ |

مثال: سلك مساحة مقطعه $4\ mm^2$ يمر به تيار قدره 20 A.
اوجد كثافة التيار.

الحل:

$$S=\frac{I}{A}=\frac{20}{4}\ \frac{A}{mm^2}=5\ \frac{A}{mm^2}$$

تمرينات

## المقاومات :

٢٣ — ١ موصّلات من النحاس ذات مقاومة نوعية قدرها $\varrho_{20} = 1/56 (\Omega\ mm^2/m)$. فإذا كانت أبعادها كما هو بالجدول. احسب مقاومتها بالأوم.

| | المعدن | الطول | مساحة مقطع السلك |
|---|---|---|---|
| أ ) | Cu | 24 m | $1,5\ mm^2$ |
| ب) | Cu | 20 m | $2,5\ mm^2$ |
| جـ) | Cu | 14 m | $4\ mm^2$ |
| د ) | Cu | 28 m | $6\ mm^2$ |

٢٣ - ٢ احسب قيمة المقاومة للموصِّلات التالية بعد استخراج ثوابت المـادة ($\varrho_{20}$ أو $\varkappa_{20}$) من الجداول في اللوحة (٢٣)

| نوع الموصل | الطول | مساحة المقطع |
|---|---|---|
| أ ) قضيب من النحاس | 8 m | $200\ mm^2$ |
| ب) سلك مجدول من الألومنيوم | 12 m | $25\ mm^2$ |
| جـ) شريط من الحديد | 20 m | $120\ mm^2$ |
| د ) سلك مقاومة RW 50 | 75 m | $0,5\ mm^2$ |

٢٣ — ٣ كبل توزيع نحاسي بمنزل ما مساحة مقطعه $16\ mm^2$ وطوله 28 m . احسب مقاومته.

٢٣ - ٤ موصل تأريض طوله 45 m يتكون من شريط من الألومنيوم سمكه 3 mm وعرضه 25 mm احسب مقاومته.

٢٣ - ٥ حوّل من $\varrho_{20}$ إلى $\varkappa_{20}$ للمواد التالية المستخدمة لصناعة المقاومات.

| المـادة | | $\varrho_{20}$ ($\Omega mm^2/m$) | $\varkappa_{20}$ ($Sm/mm^2$) |
|---|---|---|---|
| أ ) منجانين | (RW 43) | 0,43 | ? |
| ب) كونستانتان | (RW 50) | 0,50 | ? |
| جـ) نيكل كروم | (RW 110) | 1,10 | ? |
| د ) كربون (تقريبا) | | 50 | ? |

**مثال :**

سلك لفيفة طوله 10 m وقطره 0,5 mm قيست مقاومته فوجدت 25 Ω . احسب المقاومة النوعية للسلك.

**الحل :**

$l = 10\ m;\ d = 0,5\ mm;\ R = 25\Omega;\ \varrho = ?$

$A = \pi/4 \cdot d^2 = 0,785 \cdot 0,5 \cdot 0,5\ mm^2 = 0,196\ mm^2$

$$\varrho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{25 \cdot 0,196}{10} \frac{\Omega mm^2}{m} = 0,49 \frac{\Omega mm^2}{m}$$

٢٣ — ٦ لفيفة ملف مكونة من 1200 لفة من سلك مسطّح من الألومنيوم تبلغ مقاومتها 1,5 Ω . احسب مساحة مقطع الموصل إذا كان الطول المتوسط للفة الواحدة 0,28 m .

٢٣ - ٧ سلك اختبار طوله 5 m وقطره 0,25 mm ومقاومته قدرها 112 Ω .

أ ) اوجد مقاومته النوعية.

ب) ما هي المـادة التي يمكن أن يصنع منها السلك؟

٢٣ - ٨ كم مترا من سلك النيكل كروم RW 110 (قطر السلك 0,5 mm) تلزم لصنع لفيفة تسخين ذات مقاومة قدرها 55 Ω؟

٢٣ — ٩ سلك تسخين مكوّن من شريط من النيكل كروم (RW 110 ، عرض الشريط 0,8 mm ، طول الموصل 9 m) ذو مقاومة قدرها 125 Ω . اوجد سمك الشريط.

٢٣ — ١٠ كم مترا من سلك الكونستانتان RW 50 الذي قطره 0,25 mm تلزم لصنع مقاومة قدرها 1,5 Ω؟

٢٣ — ١١ تحتوي لفيفة نحاسية لملف مغنطيسي مقاومته 5,5 Ω على 700 لفة (القطر المتوسط 7 cm) اوجد مساحة مقطع السلك المستخدم.

٢٣ — ١٢ إذا كانت أسلاك التوصيل للأجهزة الكهربائية ذات مقاومة صغيرة، كم مترا من سلك نحاسي ذي موصل واحد للحالات التالية تعطي مقاومة قدرها 1 Ω؟

| | مساحة المقطع | الطول |
|---|---|---|
| أ ) كبل توصيل مرن | $0,5\ mm^2$ | ? |
| ب) دائرة إنارة | $1,5\ mm^2$ | ? |
| جـ) سخّان مياه كهربائي | $4\ mm^2$ | ? |
| د ) خط توزيع | $16\ mm^2$ | ? |
| هـ ) كبل | $70\ mm^2$ | ? |

٢٣ — ١٣ يراد استبدال سلك نحاسي طوله 100 m ومساحة مقطعه $10\ mm^2$ بسلك من الألومنيوم طوله مساو لطول سلك النحاس وله نفس قيمة المقاومة.

أ ) أوجد نسبة موصّلية النحاس إلى موصّلية الألومنيوم.

ب) ما مقدار مساحة مقطع سلك الألومنيوم الذي يجب اختياره.

جـ) قارن بين وزني السلكين الموصّلين. (كثافة النحاس $8,9\ g/cm^3$ ، والألومنيوم $2,7\ g/cm^3$).

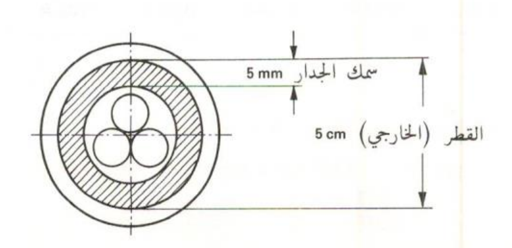
٢٣ - ١٤ ملف مرحّل (ريليه Relay) مطبوع على غلافه البيانات التالية:

| |
|---|
| I (16) 100 – 1200 – 0,20 Cu L |

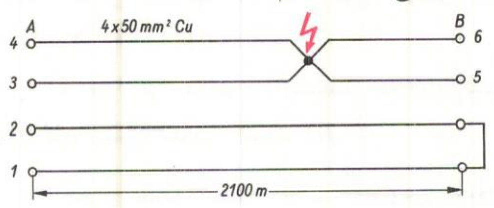
أي أن: اللفيفة رقم I (نتوءات التوصيل بالحام 6–1) ومقاومتها 100 Ω وعدد لفّاتها 1200 لفة وقطر السلك 0,20 mm ونوع السلك: سلك نحاسي مطلي بعازل.

احسب أ) مساحة مقطع السلك ب) طول السلك

٢٣ - ١٥ غلاف رصاصي لكبل أرضي أبعاده مبيَّنة بالرسم. احسب مقاومة طول 1 km من الكبل (موصِّلية الرصاص $\varkappa = 4,8\ Sm/mm^2$).



٢٣ — ١٦ نشأت في كبل أرضي طوله 2100 m دائرة قصر بين سلكين عند موقع غير معلوم :




وكانت نتائج ثلاثة قياسات للمقاومات هي :

$R_{12} = 1,50\ \Omega;\ R_{34} = 1,25\ \Omega;\ R_{56} = 0,25\ \Omega$

حدِّد :

أ ) هل هو قصر دائرة تام ؟ أو يكون قد نشأ بالإضافة إلى مقاومة النحاس مقاومة تلامس ؟

ب) على بعد كم مترا من A يجب البحث عن موقع الخطأ في الأرض ؟

٢٣ — ١٧ احسب مقاومة مكعب من النحاس طول ضلعه 1 cm .

٢٣ — ١٨ غالبا ما تعطى المقاومة النوعية للمواد العازلة بوحدة $(\Omega \cdot cm)$ (أي لمكعب طول ضلعه 1 cm أو بوحدة $(\Omega \cdot cm^2/cm)$ . ما مقدار مقاومة العزل للوح من المطاط الصلد أبعاده $100\ cm \cdot 50\ cm \cdot 0,5\ cm$ ومقاومته النوعية $\varrho = 1 \cdot 10^{12}\ \Omega \cdot cm$ .

٢٣ — ١٩ تعطى غالبا المقاومة النوعية للتربة بوحدة $(\Omega \cdot m)$ (أي لمكعب طول ضلعه 1 m بوحدة $(\Omega \cdot m^2/m)$ .

اوجد القيم الناقصة بالجدول :

| | نوع الأرض | $\varrho\ (\Omega \cdot m)$ | $\varrho\ (\Omega mm^2/m)$ |
|---|---|---|---|
| أ ) | مياه النهر | 10 | ? |
| ب) | تربة زراعية | 100 | ? |
| ج) | رمال جافة | 1000 | ? |

## كثافة التيار

٢٣ — ٢٠ يوصل خط توزيع نحاسي مساحة مقطعه $A = 10\ mm^2$ تيارا قدره $I = 25\ A$ . احسب كثافة التيار S بوحدة $(A/mm^2)$ .

٢٣ — ٢١ احسب كثافة التيار لموصّل تسخين (مساحة مقطعه $0,5\ mm^2$) عند تحميله بالتيارات الآتية :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| التيار | 0,2 A | 0,5 A | 1 A | 5 A | 15 A |

٢٣ — ٢٢ احسب كثافة التيار في موصل نحاسي (قطره 0,3 mm) عند التحميل بالتيارات المذكورة بالجدول :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| التيار | 0,03 A | 0,08 A | 0,13 A | 0,18 A | 0,24 A |

الحل للجزء (أ) :

$d = 0,3\ mm;\ I = 0,03\ A;\ S = ?A/mm^2$

$A = \pi/4 \cdot d^2 = 0,785 \cdot 0,3 \cdot 0,3\ mm^2 = 0,0707\ mm^2$

$S = \frac{I}{A} = \frac{0,03}{0,0707}\ A/mm^2 = \underline{0,425\ A/mm^2}$

٢٣ — ٢٣ ما مقدار كثافة التيار في قضيب من النحاس أبعاده $2000\ mm \times 60\ mm \times 10\ mm$ إذا مر به تيار 300 mA ؟

٢٣ — ٢٤ ما قيمة التيار المسموح به لتحميل سلك ملف (مساحة مقطعه $0,6\ mm^2$) بحيث لا تتعدى كثافة التيار القيمة $S = 2,5\ A/mm^2$ ؟

٢٣ — ٢٥ ما هي المساحة اللازمة لمقطع قضيب توصيل رئيسي ، إذا حُمِّل بتيار 500 A عند كثافة تيار $S = 1,8\ A/mm^2$ ؟

٢٣ — ٢٦ يسمح بتحميل الأسلاك المستديرة المقطع الآتية بكثافات تيار مختلفة طبقا لظروف تبريد الموصل الساخن . احسب التيارات المقابلة .

| سلك مستدير المقطع | $1,5\ \frac{A}{mm^2}$ | $2,2\ \frac{A}{mm^2}$ | $3,5\ \frac{A}{mm^2}$ |
|---|---|---|---|
| أ ) قطر 0,25 mm | ? | ? | ? |
| ب) مساحة المقطع $0,196\ mm^2$ | ? | ? | ? |
| ج) مساحة المقطع $1,13\ mm^2$ | ? | ? | ? |
| د ) قطر 2,4 mm | ? | ? | ? |

ملاحظة :

للمسائل الخاصة بسخونة الموصلات أنظر اللوحة (٣٠) . تجمع كل مسألة في التمرينات التالية كلاًّ من :

الصيغة الرياضية للمقاومة وكثافة التيار وقانون أوم والصيغة الرياضية للقدرة (وحساب الوزن) .

### مسائل متنوعة

٢٣ — ٢٧ احسب للفيفة مرحّل من سلك نحاسي (الموصلية $56\ Sm/mm^2$ وطول السلك 528 m وقطر السلك 0,2 mm) :

١) مساحة مقطع السلك A بوحدة $(mm^2)$ .

٢) مقاومة الموصل R بوحدة $(\Omega)$ .

٣) شدة التيار I عند التوصيل بجهد مستمر 12 V .

٤) كثافة التيار S بوحدة $(A/mm^2)$ .

٥) القدرة المستهلكة P بواسطة المرحل بوحدة (W) .

٢٣ – ٢٨ تتوافر شرائط النيكل كروم ذات المقاومة النوعية $\varrho = 1,05\ \Omega mm^2/m$ بالأبعاد التالية :

| | عرض الشريط $l_1$ | سُمك الشريط $l_2$ |
|---|---|---|
| أ ) | 0,3 mm | 0,03 mm |
| ب) | 0,6 mm | 0,06 mm |
| ج) | 0,5 mm | 0,12 mm |
| د ) | 0,8 mm | 0,10 mm |
| هـ) | 1,0 mm | 0,12 mm |
| و ) | 1,2 mm | 0,15 mm |
| ز ) | 1,5 mm | 0,20 mm |
| ح) | 2,5 mm | 0,25 mm |

يلزم لف مقاومات تسخين بشريط من نيكل كروم لتحميلها بكثافة تيار $22\ A/mm^2$ عند جهد منبع قدره 220 V احسب :

١ – مساحة المقطع A بوحدة $(mm^2)$ ،

٢ – شدة التيار I بوحدة (A) عند $22\ A/mm^2$ .

٣ – القدرة المستهلكة (P) في المقاومة بوحدة (W) عند 220 V ،

٤ – مقاومة الموصل (R) بوحدة $(\Omega)$

٥ – الطول (l) اللازم للموصِّل بوحدة (m) .

٢٣ – ٢٩ المطلوب عمل لفائف تسخين من سلك نيكل كروم لجهود اسمية محدَّدة طبقا للقيم التشغيلية بالجدول :

| | U (V) | $S\left(\frac{A}{mm^2}\right)$ | $\varrho\left(\frac{\Omega mm^2}{m}\right)$ | d (mm) |
|---|---|---|---|---|
| أ ) | 110 | 25 | 1,04 | 0,2 |
| ب) | 110 | 25 | 1,04 | 0,28 |
| جـ) | 110 | 25 | 1,04 | 0,32 |
| د ) | 220 | 18 | 0,95 | 0,4 |
| هـ ) | 220 | 18 | 0,95 | 0,5 |
| و ) | 220 | 18 | 0,95 | 0,55 |
| ز ) | 60 | 15 | 1,25 | 0,65 |
| ح) | 60 | 15 | 1,25 | 0,7 |
| ط) | 60 | 15 | 1,25 | 0,8 |

احسب :

١ – مساحة مقطع الموصِّل A (mm²) .

٢ – التيار I (A) في الموصِّل .

٣ – مقاومة الموصل R (Ω) .

٤ – طول الموصل l (m) .

٥ – القدرة المستهلكة P (W) .

٢٣ – ٣٠ يراد عمل لفيفة تسخين للقيم الإسمية U = 220 V و P = 3 kW . والموجود هو سلك نيكل كروم NiCr 8020 قطره 0,9 mm ، ذو مقاومة نوعية 1,09 Ωmm²/m احسب :

أ ) التيار I (A) في الموصل .

ب) مقاومة الموصل R (Ω) .

جـ) مساحة مقطع الموصل A (mm²) .

د ) طول الموصل l (m) .

هـ ) كثافة التيار S (A/mm²) .

٢٣ – ٣١ احترق موصل تسخين مصمَّم لجهد إسمي U = 220 V (RW 100 ، قطره 0,35 mm وطوله 11,50 m) ويراد استبداله على وجه السرعة مع عدم تغيير طوله . ويوجد بالمستودع سلك RW 120 ذو قطر 0,4 mm .

احسب :

١ – للموصل القديم :

أ ) مساحة المقطع A ب) المقاومة R جـ) تيار الموصل I

د) القدرة P هـ) كثافة التيار S .

٢ – للموصل الجديد :

و) مساحة المقطع A ز) المقاومة R ح) تيار الموصل I

ط) القدرة P ي) كثافة التيار S .

٢٣ – ٣٢ الحد الأقصى لكثافة التيار في لفيفة ملف من سلك نحاسي مستدير المقطع (القطر d = 0,5 mm والموصلية ϰ = 56 Sm/mm² و الكثافة ϱ = 8,9 g/cm³) عند توصيلها بجهد مستمر 110 V تبلغ S = 2,4 A/mm² .

احسب :

أ ) مساحة مقطع الموصل A (mm²)

ب) التيار I (A) في الموصل

جـ) مقاومة الموصل R (Ω)

د ) طول الموصل l (m)

هـ ) القدرة المستهلكة P (W)

و ) كتلة النحاس m (g)

٢٣ – ٣٣ يحتوي ملف مغنطيسي يعمل عند جهد مستمر 110 V على 9600 لفة من سلك نحاسي معزول يبلغ قطره العاري d = 0,22 mm . فإذا كان القطر المتوسط للفة في لفيفة الملف هو $D_m$ = 52 mm .

احسب :

أ ) مساحة مقطع الموصل A (mm²)

ب) طول الموصل l (m)

جـ) مقاومة الموصل R (Ω)

د ) التيار المسحوب I (A)

هـ ) كثافة التيار S (A/mm²)

و ) القدرة المستهلكة P (W) .

٢٣ – ٣٤ صُمِّمت لفيفة ملف من سلك نحاسي مستدير المقطع (قطره d = 0,4 mm) لأجل جهد مستمر 220 V واستهلاك قدره 77 W . ونتيجة لخلل في التشغيل هبط جهد المنبع فجأة بنسبة 44 V = 20% أي أصبح $U_2$ = 176 V .

احسب :

أ ) مساحة مقطع الموصل A (mm²)

ب) التيار الإسمي $I_1$ عند 220 V

جـ) كثافة التيار $S_1$ عند التيار الإسمي

د ) مقاومة الموصل R (Ω)

هـ ) التيار المسحوب $I_2$ عند 176 V

و ) كثافة التيار $S_2$ عند 176 V

ز ) القدرة المستهلكة $P_2$ عند 176 V

ح) النسبة بين الجهدين ($U_1 : U_2 = 1 : ?$) والنسبة بين شدتي التيار ($I_1 : I_2 = 1 : ?$)

ي) النسبة بين القدرتين ($P_1 : P_2 = 1 : ?$)

قارن بين النقص في القدرة والنقص في الجهد .

٢٣ – ٣٥ لُفَّ ملف مستدير المقطع من سلك نحاسي (القطر d = 0,5 mm ، الموصلية 56 Sm/mm² ، الكثافة ϱ = 8,9 g/cm³) وكان قطر اللفيفة الداخلي $D_i$ = 30 mm وقطرها الخارجي $D_{ex}$ = 50 mm ، وكتلتها m = 1970 g . ويسمح بتحميلها حتى كثافة تيار 2,5 A/mm²

احسب :

أ ) مساحة مقطع السلك A (mm²)

ب) طول السلك l (m)

جـ) القطر المتوسط للملف $D_m$ (m)

د ) عدد اللفات N

هـ ) مقاومة الموصل R (Ω)

و ) التيار I (A) المسموح بمروره

ز ) الجهد المستمر U (V) المسموح به

ح) القدرة المستهلكة P (W)

٢٣ – ٣٦ المطلوب استبدال اللفيفة المغنطيسية المحترقة لمحرك يعمل بالتيار المستمر (سلك نحاسي مستدير المقطع قطره 0,8 mm والموصلية 56 Sm/mm² والكثافة 8,9 g/cm³) . أما اللفيفة الأخرى المماثلة فلم تتلف وتسحب عند جهد بطارية $U_1$ = 12 V تيارا قدره $I_1$ = 0,18 A. احسب لعملية الإصلاح :

أ ) مساحة المقطع A لسلك اللفيفة

ب) المقاومة R لموصل اللفيفة

جـ) التيار $I_2$ عند $U_2$ = 110 V لكل لفيفة

د ) كثافة التيار عند 110 V

هـ ) طول السلك اللازم

و ) وزن النحاس

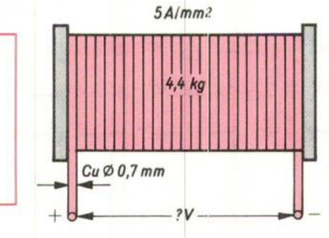
١) قام كتاب الحساب حتى الآن بتسهيل حل مسائل حسابية شاملة إذ أعطانا دائما في نص المسألة تسلسل الحل لإيجاد المطاليب . مثال ذلك ، احسب :
أ) . . . ب) . . . ج) . . . الخ

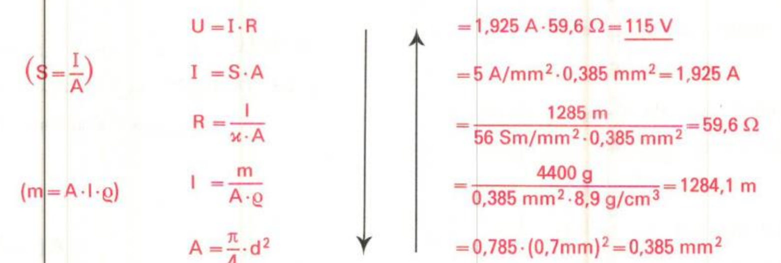
٢) في الممارسات المهنية العملية يبحث مباشرة عن النتيجة النهائية .

وعلى القائم بالحساب أن يبحث بنفسه عن طريقة الحل التي تستخدم فيها غالبا عدة صيغ رياضية وتبديلاتها .

٣) تبين الفقرة التالية مسألة شاملة كمثال يتبعها توضيح لخطوات الحساب . وتصلح الإرشادات المعطاة هنا لجميع المسائل التي قد لا تعرف طريقة حلها .

## مثال محلول





يسمح بتحميل لفيفة ملف مغنطيسي من سلك نحاسي (قطره 0,7 mm) وزنها 4,4 kg بتيار 5 A لكل $mm^2$ . احسب جهد التوصيل المستمر المسموح به .
ملاحظة : يهمل كل من التأثير الحراري وطلاء السلك ووزن اللفيفة .
عند التوصيل على الجهد المتردد تطبق قوانين أخرى .

**المعطيات :** $m = 4400\ g$; $\varrho_{Cu} = 8{,}9\ g/cm^3$; $\varkappa_{Cu} = 56\ Sm/mm^2$

$d = 0{,}7\ mm \quad S = 5\ A/mm^2 \quad U = ?\ V$

**خطوات الحل :**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $U = I \cdot R$ | ↓ ↑ | $= 1{,}925\ A \cdot 59{,}6\ \Omega = \underline{\underline{115\ V}}$ |
| $\left(S = \frac{I}{A}\right)$ | $I = S \cdot A$ | | $= 5\ A/mm^2 \cdot 0{,}385\ mm^2 = 1{,}925\ A$ |
| | $R = \frac{l}{\varkappa \cdot A}$ | | $= \frac{1285\ m}{56\ Sm/mm^2 \cdot 0{,}385\ mm^2} = 59{,}6\ \Omega$ |
| $(m = A \cdot l \cdot \varrho)$ | $l = \frac{m}{A \cdot \varrho}$ | | $= \frac{4400\ g}{0{,}385\ mm^2 \cdot 8{,}9\ g/cm^3} = 1284{,}1\ m$ |
| | $A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ | | $= 0{,}785 \cdot (0{,}7 mm)^2 = 0{,}385\ mm^2$ |

## إرشادات خاصة بطريقة الحل :

١) تدون من نص المسألة كل قيم المعطيات على الشكل : الكمية = القيمة العددية مضروبة في وحدة القياس . ويتبع ذلك أيضا المعطيات المتعلقة بالخامات . ويجب تحويل الكميات الصغيرة والكبيرة المختلفة بحيث يكون للكميات المتشابهة نفس الوحدات . وتوضع الكمية المطلوب إيجادها كهدف نهائي لخطوات الحل .

٢) تبدأ خطوات الحل بالصيغة الرياضية للكمية المطلوب إيجادها . ويجب أن يحتوي طرفها الأيمن على الكميات المعلومة أو تلك الكميات التي يمكن حسابها بواسطة صيغ رياضية أخرى من الكميات المعطاة . ففي المثال يمكن حساب شدة التيار I من كثافة التيار والمقاومة R من المعطيات الخاصة بالخامات ومن الأبعاد .

٣) لعمل التبديلات في الصيغ الرياضية تُسجل أولا على هامش الصفحة الصيغة الرياضية الأصلية . فإذا كتبت الصيغة الرياضية الأصلية وجميع الصيغ الرياضية المساعدة الضرورية بعد تبديلها تحت بعضها البعض ، فإنه يمكن البدء في الحساب من أسفل بالتعويض عن البيانات المعطاة ثم تسلسل عملية التعويض نتيجة للحصول على بيانات جديدة بواسطة الحساب حتى نحصل على القيم المطلوبة .

٤) لتكملة الحساب يعوض بالقيم المعطاة والقيم المساعدة المحسوبة في الصيغ الرياضية . ويحسب بالتقريب بالمسطرة الحاسبة . تراعى الوحدات أثناء التعويض وتعطى أهمية في جميع خطوات الحساب الفرعية وفي النتائج النهائية . تجرى الحسابات الفرعية (عند الحساب بدون مسطرة حاسبة) على اليمين في الهامش . يوضع خطان تحت النتيجة النهائية .

ملاحظة : لكي يتم الإلمام بالمعادلات ذات الكميات الفيزيائية والتي تحتوي على رموز صيغ رياضية - خاصة المعادلات المعقدة التي بها كسور مزدوجة وأسس وجذور على سبيل المثال - فإنه من الأفضل أن توضع رموز الوحدات دائما في الحساب إلى جانب القيم العددية وذلك لكي يتطابق طرفا المعادلة ليس فقط في القيم العددية وإنما في الوحدات أيضا .

تمرينات

حدد في التمرينات التالية أولا طريقة الحل ثم عوض بعد ذلك بالقيم العددية!

٢٤ – ١ استعمل سلك نحاس قطره 0,6 mm للف ملف مغنطيسي، (مقاومة الموصل 100 Ω). ما هو وزن النحاس؟

٢٤ – ٢ في مكواة تعمل على جهد 220 V وتحتوي على مسخن قدرته 600 W استخدم شريط نيكل كروم RW 110 ذو مساحة مقطع $0,12\ mm^2$ كمادة مقاومة لتلف حول لوح من الميكا. كم لفة يجب تكوينها إذا بلغ الطول المتوسط للفة الواحدة 11 cm؟

٢٤ – ٣ يبلغ وزن اللفيفة في ملف مزدوج مصنوع من سلك مسطح من الألومنيوم 2,2 kg ومساحة مقطعه $9\ mm^2$. احسب المقاومة الأومية للفيفة الملف.

٢٤ – ٤ احسب وزن النحاس في ملف مغنطيسي يأخذ تيارا قدره $2,5\ A/mm^2$ بقدرة 80 W عند التوصيل على جهد مقداره 220 V

٢٤ – ٥ ما مقدار المقاومة المتوقعة بالأوم لسلك نحاسي وزنه 100 g (قطره 0,1 mm)؟

٢٤ – ٦ عند سريان تيار 0,8 A كان فرق الجهد على مقاومة توال هو 110 V. فإذا حملت لفيفة المقاومة المصنوعة من RW 50 بكثافة تيار $6\ A/mm^2$ احسب:

أ) طول الموصل ب) قطر الموصل المستخدم في سلك المقاومة.

٢٤ – ٧ عينت لمقاومة متغيرة مدون عليها $R=100\ \Omega,\ I=3,4\ A$ القيم التالية: قطر السلك 0,7 mm وعرض اللف (ذو طبقة واحدة) 350 mm والقطر المتوسط للفة 50 mm. ما هي المادة التي استخدمت للف المقاومة؟

٢٤ – ٨ لفيفة تسخين من سلك مقاومة طوله 5,8 mm (قطر السلك 0,45 mm, $\varrho=0,95\ \Omega mm^2/m$) مصممة لجهد 110 V وصلت بطريق الخطأ على 220 V. احسب لكلا الجهدين:

أ) قيمتي التيار ب) كثافتي التيار

ج) القدرة المستهلكة في كل حالة وقارن بين القيم.

٢٤ – ٩ تستهلك لفيفة تسخين من سلك نيكل كروم ذي $\varrho=1,04\ \Omega mm^2/m$ قدرة مقدارها 800 W عند توصيلها على 24 V (كثافة التيار $S=18\ A/mm^2$) احسب:

أ) طول الموصل ب) قطر الموصل.

٢٤ – ١٠ ما هو الطول اللازم بالمتر من سلك RW 110 لصنع لفيفة تسخين لجهد توصيل 220 V ولكثافة تيار $25\ A/mm^2$؟ ملاحظة: يمكن أن تحل هذه المسألة فقط إذا استنبطت صيغة رياضية جديدة من الصيغ المعلومة حتى الآن والتي يمكن منها إيجاد قيمة الطول l.

٢٤ – ١١ يستهلك موصل تسخين مصنوع من RW 120 وقطره 0,35 mm قدرة 450 W عند توصيله على 220 V. احسب طول الموصل.

٢٤ – ١٢ يمر في لفيفة من سلك نحاسي معزول (d=0,35 mm) تيار قدره 0,2 A عند توصيلها بجهد مستمر 220 V. احسب وزن سلك اللفيفة.

٢٤ – ١٣ تزن حزمة من السلك النحاسي العاري 14,3 kg، وقيس قطر السلك بواسطة الميكرومتر فوجد أنه d=2,77 mm. إحسب طول السلك؟

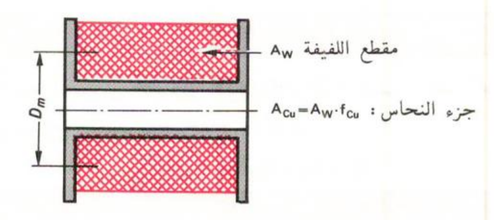
٢٤ – ١٤ كم مترا يلزم مدها من خط نحاسي مزدوج ذي سلكين ($2\cdot 1,5\ mm^2$)، إذا أريد ألا يستهلك الخط جهدا أكثر من 3,3 V عند تأمينه بمصهر 16 A؟

٢٤ – ١٥ إذا طلب توصيل محرك تيار مستمر 4 kW/220 V بأقرب شبكة توزيع بواسطة سلك طوله 26 m ($2\cdot 4\ mm^2$ نحاس). إحسب الجهد الذي يستهلكه السلك عند تشغيل المحرك بالحمل الإسمي إذا كانت الكفاية $\eta=0,85$.

٢٤ – ١٦ يراد لف ملف مغنطيسي (المقاومة للتيار المستمر 40 Ω و3000 لفة) من سلك نحاسي مستدير المقطع (d=0,4 mm) وعامل الحيز للنحاس ($f_{Cu}=0,72$).

احسب: أ) مساحة مقطع اللفيفة.

ب) القطر المتوسط للفيفة الملف.




٢٤ – ١٧ يراد لف ملف مغنطيسي من سلك نحاسي (قطر السلك 0,5 mm ومعامل الحيز للنحاس 0,7) على جسم لف اسطواني الشكل. أبعاد اللفيفة: العرض 10 cm والقطر الداخلي 5 cm والقطر الخارجي 8 cm. احسب: أ) مقاومة الموصل ب) عدد لفات الملف المصنع.

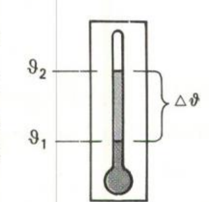
٢٤ – ١٨ احسب قطر وطول سلك التسخين RW 110 لعمل لفيفة تسخين 2,5 kW/220 V إذا كانت كثافة التيار المتوقعة $20\ A/mm^2$.

٢٤ – ١٩ لفت مقاومة متغيرة 40 Ω/1 kW من سلك كونستانتان RW 50 قطره 0,8 mm والقطر المتوسط للفة 60 mm. ما مقدار جهد اللفة (استهلاك الجهد في لفة واحدة للملف) عند أعلى جهد توصيل مسموح به؟

٢٤ – ٢٠ ما هي القدرة التي تستهلكها مقاومة تسخين 100 W إذا وصلت على 70% من جهدها الإسمي؟

## التغير في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$

تقاس درجة الحرارة بالكلفن (K، وحدة SI) أو بالدرجات المئوية (°C). يساعد الرمز $\vartheta$ (ينطق: ثيتا) المستخدم في الصيغ الرياضية لدرجة الحرارة على تجنب الخلط مع رمز الزمن t.




وعند التسخين يفرق بين:
$\vartheta_1$= درجة الحرارة الإبتدائية
$\vartheta_2$= درجة الحرارة النهائية
$\Delta\vartheta$= التغير في درجة الحرارة

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

الرمز $\Delta$ (ينطق: دلتا) المكتوب قبل كمية مقاسة يعني «الفرق» أو «التغير».
$\Delta\vartheta$= التغير في درجة الحرارة و $\Delta l$= التغير في الطول و $\Delta R$= التغير في المقاومة.
في حالة الفرق في درجات الحرارة يكون 1K=1°C.

أمثلة للتغير في درجة الحرارة:

١) عند التسخين

$\vartheta_1 = 25°C;\ \vartheta_2 = 100°C$

$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 100°C - 25°C = \underline{+75°C}$

٢) عند التبريد

$\vartheta_1 = 100°C;\ \vartheta_2 = 25°C$

$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 25°C - 100°C = \underline{-75°C}$

## التغير في المقاومة $\Delta R$

يمكن أن تسخن الموصلات الكهربائية فتتغير مقاومتها تبعا لذلك. وتعني $R_{20}$ المقاومة عند درجة حرارة الغرفة 20°C.
يعطي المعامل الحراري $\alpha_{20}$ (ينطق: ألفا 20) لمادة الموصل كم أوما تزيدها المقاومة $R_{20}=1\Omega$ إذا سخنت بمقدار 1K=1°C.
وحدة $\alpha$ هي:
$$\frac{\Omega}{\Omega\cdot K} = 1/K = 1/°C$$
(زيادة المقاومة لكل أوم ولكل كلفن)
$\Delta R$= المقاومة × التغير في درجة الحرارة × $\alpha_{20}$:

$$\Delta R = R_{20}\cdot\Delta\vartheta\cdot\alpha_{20}$$

المقاومة الساخنة = المقاومة عند درجة حرارة 20°C + التغير في المقاومة:

$$R_h = R_{20} + \Delta R$$

إذا أريد التبديل للحصول على $R_{20}$، فإنه يجب ربط الصيغتين الرياضيتين وأخذ $R_{20}$ خارج الأقواس:

$$R_h = R_{20} + R_{20}\cdot\Delta\vartheta\cdot\alpha_{20}$$

$$R_h = R_{20}\cdot(1+\Delta\vartheta\cdot\alpha_{20})$$

مثال (١): مقاومة ساخنة

$R_{20} = 100\Omega;\ \alpha_{20} = 0{,}004\ 1/°C;\ R_{70} = ?\ \Omega$

الحل:

$\Delta\vartheta = 70°C - 20°C = 50°C$

$\Delta R = R_{20}\cdot\Delta\vartheta\cdot\alpha_{20} = 100\cdot 50\cdot 0{,}004\ \Omega = 20\ \Omega$

$R_{70} = R_{20} + \Delta R = 100\ \Omega + 20\ \Omega = \underline{120\ \Omega}$

مثال (٢): درجة حرارة التشغيل $\vartheta$

$R_{20} = 100\ \Omega;\ \alpha_{20} = 0{,}004\ 1/°C;\ \Delta R = +20\ \Omega;\ \vartheta = ?$

الحل:

$\Delta\vartheta = \frac{\Delta R}{R_{20}\cdot\alpha_{20}} = \frac{20\ \Omega}{100\Omega\cdot 0{,}0041/°C} = 50°C$

$\vartheta = 20°C + 50°C = \underline{70°C}$

مثال (٣): اوجد $R_{70}$ إذا كانت:

$R_{45} = 110\Omega;\ \alpha_{20} = 0{,}0041/°C;$

الحل:

$R_{20} = \frac{R_{45}}{1+\Delta\vartheta_{45}\cdot\alpha_{20}} = \frac{110\ \Omega}{1+25\cdot 0{,}004} = 100\ \Omega$

$R_{70} = \underline{120\ \Omega}$ (الحساب كما في مثال ١)

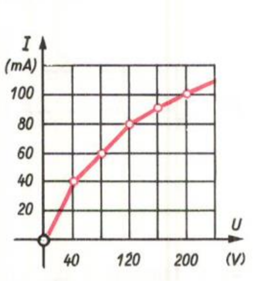
## الموصل البارد والموصل الساخن

بالتسخين ترتفع قيمة R في معظم المعادن الموصلة: $\alpha$ و $\Delta R$ موجبان.
بالتسخين تنخفض قيمة R في معظم أشباه الموصلات: $\alpha$ و $\Delta R$ سالبان.

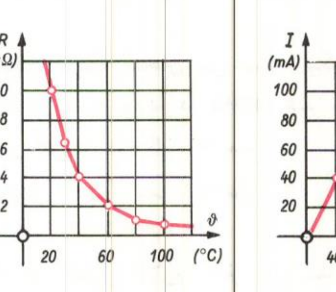
يتغير المعامل الحراري $\alpha$ مع المقاومة الإسنادية وغالبا أيضا مع مدى التغير في درجات الحرارة. يمكن حساب $\alpha_h$ للنحاس لمقاومة ساخنة $R_h$ اختيارية:

$$\alpha_{Cu} = \frac{1}{235°C+\vartheta} \approx 0{,}004\ \frac{1}{°C}$$

ويساوي ذلك زيادة قدرها حوالي 0,4% في المقاومة لكل درجة مئوية.
ترتفع قيمة $\Delta R$ لموصلات خاصة ساخنة أو باردة بمقدار 30% لكل درجة مئوية. ويجب التمييز بين التسخين الذاتي عن طريق التحميل بالتيار والتسخين بمصدر خارجي عند مرور تيار صغير للقياس.



المنحنى الخصائصي بين U و I لمصباح متوهج 25 W (الحرارة الذاتية)



المنحنى الخصائصي بين $\vartheta$ و R لسلك تسخين (حساس الحرارة)

## تمرينات

٢٥ – ١ قيست درجة الحرارة في الصحراء فكانت $+40°C$ في الظل أثناء النهار و $+15°C$ أثناء الليل . ما مقدار التغير في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$ ؟

٢٥ – ٢ احسب القيم الناقصة لدرجات الحرارة المعطاة بعد بيان إشاراتها .

| | درجة الحرارة الإبتدائية $\vartheta_1$ | درجة الحرارة النهائية $\vartheta_2$ | التغير في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$ |
|---|---|---|---|
| أ ) | + 20°C | + 100°C | ? |
| ب ) | + 100°C | + 20°C | ? |
| جـ ) | + 12°C | ? | + 75°C |
| د ) | + 40°C | ? | − 50°C |
| هـ ) | + 40°C | − 50°C | ? |
| و ) | − 20°C | − 5°C | ? |

٢٥ – ٣ يمكن أن تزداد مقاومة الموصلات عند التسخين (موصل بارد) أو تنخفض (موصل ساخن) . احسب القيم الناقصة لمعطيات المقاومة التالية :

| | المقاومة الباردة $R_C$ | المقاومة الساخنة $R_h$ | التغير في المقاومة $\Delta R$ |
|---|---|---|---|
| أ ) | 100 Ω | 104 Ω | ? |
| ب ) | 100 Ω | 96 Ω | ? |
| جـ ) | 50 Ω | ? | + 20 Ω |
| د ) | 50 Ω | ? | − 20 Ω |
| هـ ) | ? | 36 Ω | − 66 Ω |
| و ) | 48,3 Ω | ? | +12,2 Ω |

٢٥ – ٤ تبلغ مقاومة لفيفة نحاسية 100 Ω عند $+20°C$ . احسب الزيادة في المقاومة إذا كان المعامل الحراري 0,004 لكل درجة مئوية وإذا ارتفعت درجة حرارة اللفيفة إلى القيم التالية :

| أ | ب | جـ | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| + 30°C | +40°C | +50°C | +60°C | +80°C | +100° |

حل الجزء (أ) :

$R_{20} = 100\ \Omega;\ \alpha_{20} = +\ 0,004\ 1/°C;\ \Delta R = ?\ \Omega$

$\Delta\vartheta = 30°C - 20°C = +10°C$

$\Delta R = R_{20}\cdot\Delta\vartheta\cdot\alpha_{20} = 100\cdot 10\cdot 0,004\ \Omega = \underline{+4\ \Omega}$

٢٥ – ٥ احسب المقاومة الساخنة للفائف النحاسية التالية بالمعامل الحراري $\alpha_{20} = +\ 0,004\ 1/°C$ .

| | أ | ب | جـ |
|---|---|---|---|
| $R_{20}$ | 12,5 Ω | 42 Ω | 1 Ω |
| $\vartheta_h$ | + 70°C | + 58°C | + 21°C |
| $R_h$ | ? | ? | ? |

٢٥ – ٦ ارتفعت المقاومة R لملف نحاسي بعد فترة تشغيل طويلة من 162 Ω (عند $+20°C$) إلى 199 Ω ($\alpha_{20} = +\ 0,004\ 1/°C$) .

احسب : أ ) الزيادة في المقاومة $\Delta R$

ب) الزيادة في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$

جـ) درجة الحرارة $\vartheta_h$

٢٥ – ٧ تبلغ مقاومة لفيفة من الحديد 10 Ω عند $+20°C$ . ما هي درجة الحرارة التي يجب أن تصل إليها لفيفة الحديد لكي تضاعف مقاومتها ؟ استخدم للحديد $\alpha_{20} = +\ 0,005\ 1/°C$ ، واحسب بالترتيب التالي :

أ) $R_h$ ب) $\Delta R$ جـ) $\Delta\vartheta$ د) $\vartheta_h$

٢٥ – ٨ تسحب لفيفة نحاسية موصلة على جهد مستمر 220 V تيارا 2,75 A عند بدء التشغيل (درجة حرارة الموصل $+20°C$) . وبزيادة زمن التشغيل ينخفض التيار إلى $I = 2,34\ A$ . احسب درجة حرارة اللفيفة الساخنة .

٢٥ – ٩ ترتفع درجة حرارة لفيفة من الألومنيوم ($\alpha_{20} = +\ 0,004\ 1/°C$) إلى $+75°C$ أثناء التشغيل . ما قيمة مقاومتها الساخنة إذا ما قيست عند $+20°C$ فكانت $R_{20} = 400\ m\Omega$ ؟

٢٥ – ١٠ أ) احسب مقاومة خط توصيل نحاسي طوله $l = 2352\ m$ (سلك مفرد) وقطره $d = 3\ mm$ وموصليته $\varkappa_{20} = 56\ Sm/mm^2$

ب) ما قيمة مقاومته عند $+55°C$ ؟

٢٥ – ١١ المطلوب تعيين المعامل الحراري الدقيق α للنحاس عند درجات الحرارة التالية :

| أ | ب | جـ | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| − 10°C | + 100°C | + 50°C | + 20°C | + 10°C | 0°C |

حل للجزء (د) :

$$\alpha_{20} = \frac{1}{235°C + \vartheta_{20}} = \frac{1}{235 + 20}\,\frac{1}{°C} = 0,00392\ \frac{1}{°C}$$

٢٥ – ١٢ بلغت مقاومة لفيفة نحاسية 96 Ω عند $+5°C$ وارتفعت بعد التحميل لمدة ساعتين إلى $R_h = 120\ \Omega$ . احسب درجة حرارة اللفيفة الساخنة .

إرشاد للحل : أوجد بالترتيب :

أ) $\alpha_5$ ب) $\Delta R$ جـ) $\Delta\vartheta$ د) $\vartheta_h$

٢٥ – ١٣ سحبت لفيفة من الألومنيوم عند التوصيل على جهد مستمر 60 V وعند $+12°C$ تيارا قدره $I = 2,5\ A$ . احسب التيار $I_h$ عند $+87°C$ بواسطة المعامل الحراري الدقيق للألومنيوم :

$$\alpha_{Al} = \frac{1}{245°C + \vartheta}$$

٢٥ – ١٤ احسب المقاومة $R_{20}$ للفيفة نحاسية مصممة لتسحب 500 mA عند $+70°C$ عند توصيلها على جهد مستمر قدره 24 V .

للحل طريقتان :

١) قارن بالمسألة (٢٥ – ١١) $R_{20} = R_h - R_h\cdot\Delta\vartheta\cdot\alpha_h$

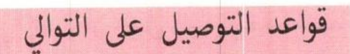
٢) $R_{20} = \dfrac{R_h}{1 + \Delta\vartheta\cdot\alpha_{20}}$

٢٥ – ١٥ عين $R_h$ لمصباح متوهج 25 W (انظر المنحنى الخصائصي باللوحة ٢٥ لجهود التشغيل) عند :

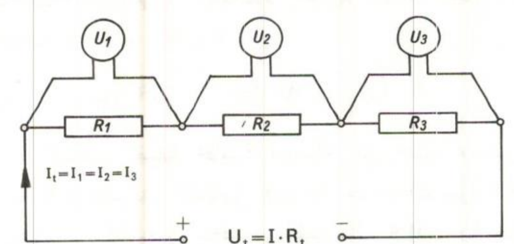
أ) 40 V ب) 80 V جـ) 120 V د) 160 V هـ) 200 V .

٢٥ – ١٦ يراد مراقبة درجة حرارة موصل ساخن (انظر المنحنى الخصائصي باللوحة ٢٥ وتضاف إليه مقاومة تشغيل مقدارها 2 kΩ وجهد التوصيل = 24 V) . عين تيار إشارة المراقبة لدرجات الحرارة التالية :

أ) 20°C ب) 40°C جـ) 60°



## قواعد التوصيل على التوالي




غالبا ما تشغل عدة أجهزة كهربائية مصممة لنفس التيار الإسمي (أي مقاومات) في دائرة تيار واحدة. في هذه الحالة توجد أنواع مختلفة من توصيلات الدوائر. والصفة المميزة للتوصيل على التوالي هي: أن نفس كمية التيار تمر في جميع المقاومات على التوالي.

**يكون التيار I متساويا دائما**

من التجربة تبين لنا القياسات أن:

$\frac{U_t}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I}$

$U_t \cdot I = U_1 \cdot I + U_2 \cdot I + U_3 \cdot I$

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I \cdot R_1}{I \cdot R_2} = \frac{I^2 \cdot R_1}{I^2 \cdot R_2}$

| |
|---|
| $U_t = U_1 + U_2 + U_3 ...$ |
| $R_t = R_1 + R_2 + R_3 ...$ |
| $P_t = P_1 + P_2 + P_3 ...$ |
| $\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{P_1}{P_2}$ |

بجمع الجهود الجزئية $U_1$ (على $R_1$)، $U_2$ (على $R_2$) ...الخ نحصل على الجهد الكلي $U_t$.

إذا قسم طرفا المعادلة على I فإننا نحصل على الصيغة الرياضية للمقاومة الكلية $R_t$.

وإذا ضرب طرفا المعادلة في I فإننا نحصل على الصيغة الرياضية للقدرة الكلية $P_t$.

لنفس التيار I تكون المقاومات والجهود والقدرات متناسبة طرديا.

مثال:
احسب جميع قيم R و I و U و P للدائرة:

R1 4Ω — R2 8Ω — $U_t = 60$ V

$I = U_t \div R_t = \underline{5\ A}$

$P_1 = I \cdot U_1 = 100$ W

$P_2 = I \cdot U_2 = 200$ W

$P_t = P_1 + P_2 = \underline{300\ W}$

$R_t = R_1 + R_2 = \underline{12\ \Omega}$

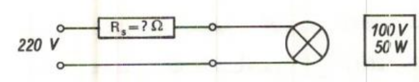
$U_1 = I \cdot R_1 = 20$ V

$U_2 = I \cdot R_2 = 40$ V

$U_t = U_1 + U_2 = \underline{60\ V}$

## استخدامات التوصيل على التوالي

١) مقاومة توال لحماية الأجهزة



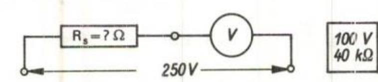

$\Delta U = 220\ V - 100\ V = 120$ V

$I_N = 50\ W \div 100\ V = 0{,}5$ A

$R_s = 120\ V \div 0{,}5\ A = 240\ \Omega$

$R_s = \frac{\Delta U}{I_N}$

٢) قياس الجهود العالية



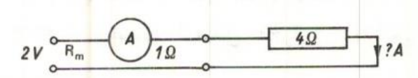

$\Delta U = 250\ V - 100\ V = 150$ V

$I_m = 100\ V \div 40\ 000\ \Omega = 0{,}0025$ A

$R_s = 150\ V \div 2{,}5m\ A = 60\ k\Omega$

$R_s = \frac{\Delta U}{I_m}$

٣) الخطأ عند قياس التيار




بدون (A) $I = 2\ V \div 4\ \Omega = 0{,}5$ A

مع (A) $I = 2\ V \div 5\ \Omega = 0{,}4$ A

خطأ القياس $1\ \Omega \div 5\ \Omega = 1/5 = 20\%$

خطأ القياس $= R_m \div R_t$

٤) فقد الجهد في خطوط التوصيل (منابع الجهد)

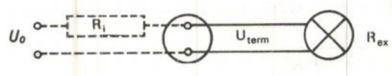
$U_t$ — 2·42 m — Cu 1,5 mm² — $U_{term}$ — 10 A

$U_t - U_{term} = 2 \cdot U_c = 2 \cdot I \cdot R_C$

$\Delta U = \frac{2 \cdot 10 \cdot 42}{56 \cdot 1{,}5} V = \underline{10\ V}$

$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\varkappa \cdot A}$

٥) فقد الجهد في منابع الجهد



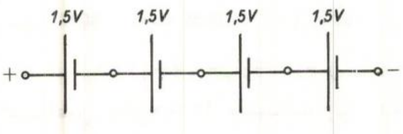

جهد الدائرة المفتوحة (بدون تيار) = $U_o$

مع وجود تيار: $U_{term} = U_o - (I \cdot R_i)$

المقاومة الداخلية: $R_i = (U_o - U_{term}) \div I$

$\Delta U = I \cdot R_i$

## توصيل مصادر الجهد على التوالي




مصباح جيب يعمل ببطارية مكونة من أربع خلايا (n=4) (والمقاومة الداخلية لكل خلية 0,5 Ω على سبيل المثال)

تصلح قواعد التوصيل على التوالي لمنابع الجهد أيضا. انظر المثال على اليمين.

تحميل البطارية بتيار 0,5 A:

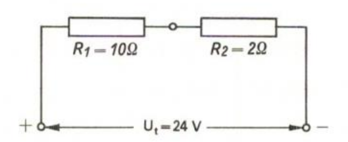
المقاومة الداخلية: $R_i = n \cdot 0{,}5\ \Omega = 2\ \Omega$

جهد الدائرة المفتوحة (حالة اللاحمل): $U_o = n \cdot 1{,}5\ V = 6\ V$

جهد الأطراف عند التحميل: $U_{term} = U_o - I \cdot R_i = 6\ V - 0{,}5 \cdot 2\ V = 5\ V$

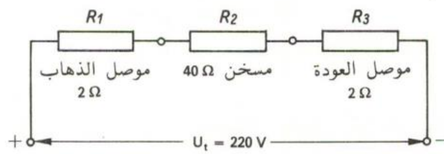
## تمرينات

٢٦ – ١ دوّن كل القيم المقاسة للدائرة في جدول واحد (انظر أسفله)، ودوّن القيم كما في طريقة الكلمات المتقاطعة: ينطبق قانون أوم أفقيا على كل سطر وتنطبق قوانين التوصيل على التوالي رأسيا.




| R (Ω) | U (V) | I (A) | التوصيل على التوالي |
|---|---|---|---|
| 10 | ? | ? | المقاومة $R_1$ |
| 2 | ? | ? | المقاومة $R_2$ |
| ? | 24 | ? | القيم الكلية |

٢٦ – ٢ وصل جهاز تسخين بواسطة خطي تغذية ذهابا وعودة على 220 V. دوّن جميع القيم المقاسة في جدول. دقق القيم أفقيا ورأسيا.

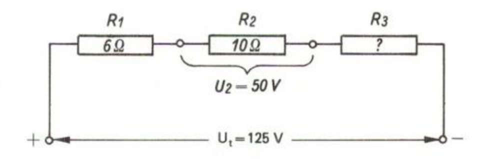



| R (Ω) | U (V) | I (A) | التوصيل على التوالي |
|---|---|---|---|
| 2 | ? | ? | ١) موصل الذهاب |
| 40 | ? | ? | ٢) المسخن |
| 2 | ? | ? | ٣) موصل العودة |
| ? | 220 | ? | القيم الكلية |

٢٦ – ٣ تحسب جميع القيم R و U و I في الذاكرة لكل من دوائر التوالي التالية، ثم تدون في جدول وتدقق طبقا لطريقة الكلمات المتقاطعة.

| ه | د | ج | ب | أ | |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 V | 24 V | 12 V | 60 V | 100 V | $U_t$ |
| 30 Ω | 4 Ω | 4 Ω | 7 Ω | 15 Ω | $R_1$ |
| 50 Ω | 3 Ω | 13 Ω | 3 Ω | 25 Ω | $R_2$ |
| 20 Ω | 1 Ω | 7 Ω | 5 Ω | 10 Ω | $R_3$ |

٢٦ – ٤ أكمل في جدول كما هو مبين أعلاه جميع القيم R و U و I للدائرة التالية:




٢٦ – ٥ إذا وصلت المقاومة $R_1 = 35\,\Omega$ على التوالي مع المقاومة $R_2 = 15\,\Omega$ بجهد $U_t = 220\,V$. ما قيمة التيار I المار خلال $R_1$ و $R_2$؟

٢٦ – ٦ إذا مر تيار $I = 0{,}4\,A$ في دائرة توال مكونة من $R_1 = 40\,\Omega$، $R_2 = 20\,\Omega$، احسب هبوطي الجهد $U_1$ و $U_2$ على المقاومتين $R_1$ و $R_2$.

٢٦ – ٧ وصلت المقاومتان $R_1$ و $R_2$ على التوالي فإذا مر 2,5 A خلال دائرة التوصيل ينشأ هبوط جهد $U_1 = 75\,V$ على المقاومة $R_1$ وهبوط جهد $U_2 = 135\,V$ على المقاومة $R_2$.

احسب: أ) $R_1$   ب) $R_2$   ج) $R_t$   د) $U_t$.

٢٦ – ٨ مقاومتان متصلتان على التوالي، الأولى $R_1$ وعليها هبوط جهد $U_1 = 36\,V$ والثانية $R_2$ وعليها هبوط جهد $U_2 = 24\,V$ ومقاومتهما الكلية تبلغ $3000\,\Omega$. ما مقدار $R_1$ و $R_2$.

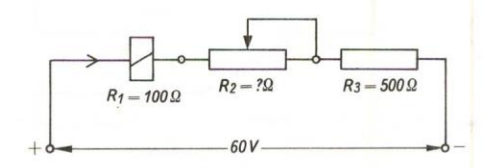
٢٦ – ٩ المطلوب تشغيل المقاومة $R_2$ بواسطة 30 V/3 A في دائرة التوصيل على التوالي المكونة من $R_1$ و $R_2$.

أ) ماقيمة المقاومة $R_2$؟

ب) ماهي القيمة الأومية للمقاومة $R_1$ الواجب إدخالها في الدائرة، إذا كان جهد المنبع الموجود:

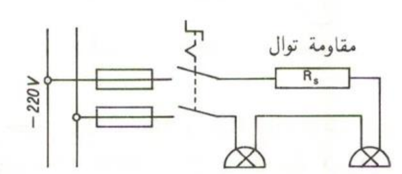
١) 60 V   ٢) 80 V   ٣) 110 V؟

٢٦ – ١٠ ما هي القيمة الواجب ضبط $R_2$ عليها لكي يستجيب المرحل (عند 50 mA)؟




٢٦ – ١١ مصباح إضاءة تدريج ميزان ضوئي مدون عليه 12 V/0,4 A، كم أوما يجب توصيلها على التوالي عند التوصيل على 110 V؟

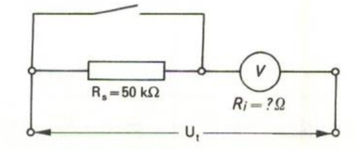
٢٦ – ١٢ وصل كل من المصباحين القوسيين لآلة طباعة عبر مقاومة توال $10{,}8\,\Omega$ على شبكة تيار مستمر 220 V. ما مقدار الجهد الذي يحصل عليه كل مصباح، إذا مر تيار قدره 12 A؟



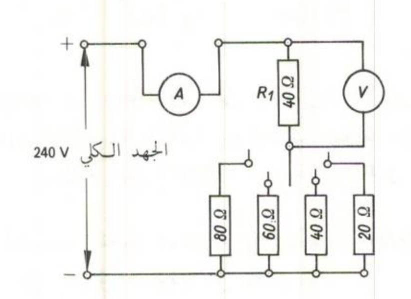

٢٦ – ١٣ يراد توصيل كاوية لحام 24 V/2,4 A مع مقاومة توال على شبكة بطارية 60 V احسب: أ) قيمة مقاومة التوالي ب) مساحة مقطع موصل المقاومة لكثافة تيار $8\,A/mm^2$ في مقاومة التوالي ج) طول السلك المناظر ($\varrho = 0{,}95\,\Omega mm^2/m$).

٢٦ – ١٤ بأية مقاومة توال يمكن التوصل إلى استخدام ڤولطمتر تدريجه 100 V (مقاومة جهاز القياس $40\,k\Omega$) لقياسات الجهد حتى 400 V؟

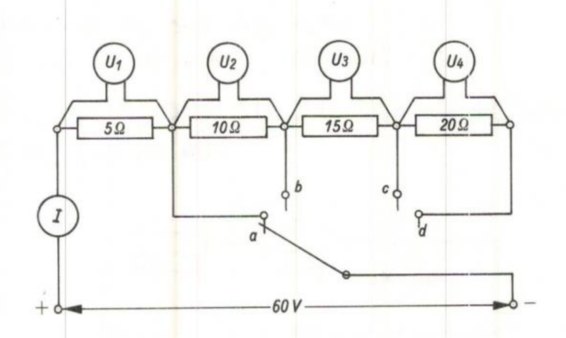
٢٦ – ١٥ ما قيمة المقاومة الداخلية للڤولطمتر، إذا أعطى 225 V عند وصل المفتاح و 125 V عند فصله؟



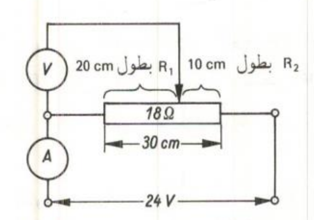
٢٦ — ١٦ احسب لدائرة القياس التالية الجهد والتيار للمقاومة $R_1$ ، إذا وصّل معها على التوالي بالتتابع :
أ) 80 Ω ب) 60 Ω ج) 40 Ω د) 20 Ω .



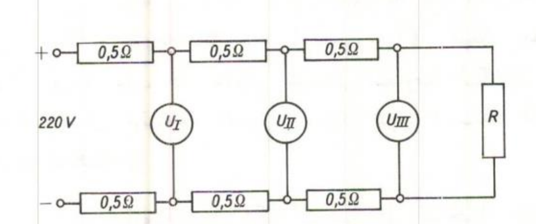

٢٦ - ١٧ احسب كل القراءات للقياس ($U_4, U_3, U_2, U_1, I_1$) لأوضاع المفتاح a و b و c و d .



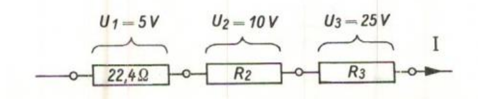

٢٦ —١٨ وصّلت وضبطت مقاومة متغيرة ملفوفة في طبقة واحدة كما بالرسم . ما هي قيم القياس التي يبينها جهازا القياس؟




٢٦ — ١٩ احسب $U_I$ و $U_{II}$ و $U_{III}$ إذا عوض عن المقاومة R بالتتابع بالقيم : أ) 107 Ω ب) 52 Ω ج) 24,5 Ω .



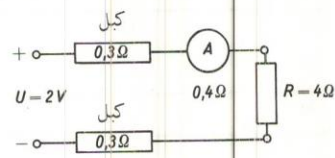

٢٦ — ٢٠ أ) ما النسبة العددية بين الجهود الجزئية الثلاثة؟
ب) أوجد قيم المقاومتين $R_2$ و$R_3$ . ج) كم تصبح كل من القيم ($U_1, U_2, U_3, R_1, R_2, R_3$) إذا خفّض التيار I إلى 80% من قيمته؟
د) كم تصبح هذه القيم عند فصل التيار؟




### مقاومات الفقد

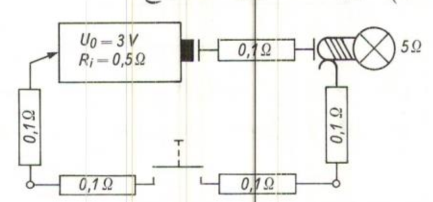
مقاومات الفقد الموصلة على التوالي مع الحمل هي :
أ ) مقاومة خطي التغذية (الذهاب والعودة)
ب) المقاومة الداخلية لمنبع الجهد
ج) مقاومات التلامس عند مواضع الاتصال
د ) المقاومات الداخلية للأمبيرمتر .
وهي تسبب فقدا للجهد والقدرة ويجب أخذها في الاعتبار عند حساب التيار إذا ما تعدت قيمة مقاومتها 1% من قيمة المقاومة الكلية في دائرة التيار .

٢٦ - ٢١ يراد إيضاح قانون أوم عمليا بواسطة دائرة الاختبار التالية :

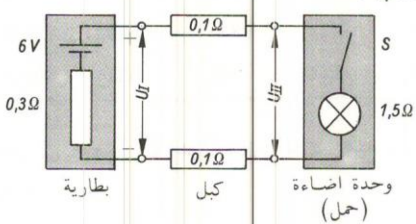



أ ) ما مقدار التيار $I=2V \div 4\Omega$ طبقا لقانون أوم .
ب) ما شدة التيار التي يبينها الأمبيرمتر؟
ج) على أي جهد تتصل المقاومة R؟
د ) كم مترا من سلك نحاس مقطعه $0,25\ mm^2$ تعطي مقاومة قدرها 0,3 Ω .

٢٦ — ٢٢ في دائرة التيار لمصباح يدوي توجد بطارية 3 V (المقاومة الداخلية 0,5 Ω) ومصباح مقاومته 5 Ω وخمسة مواضع للاتصال مقاومة كل منها 0,1 Ω ، ويستخدم الغلاف المعدني كموصل جيد التوصيل . احسب :
أ) المقاومة في دائرة التيار المغلقة ب) التيار المسحوب بالمصباح ج) جهد التشغيل للمصباح .




٢٦ — ٢٣ إذا وصّلت وحدة إضاءة 1,5 Ω كحمل على بطارية 6 V مقاومتها الداخلية 0,3 Ω عن طريق كبلين لكل منهما مقاومة 0,1 Ω . احسب :

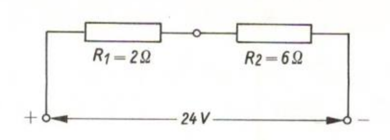



أ ) مقاومة دائرة التيار المغلقة
ب) شدة التيار الثابتة في كل مواضع الدائرة
ج) فقد الجهد في البطارية
د ) جهد الأطراف $U_1$ للبطارية
هـ) فقد الجهد في كلا الكبلين
و ) جهد الأطراف $U_{II}$ على الحمل
ز ) $U_I$ ، $U_{II}$ عند المفتاح S .

٢٦ - ٢٤ ما مقدار المقاومة الداخلية لمقبس عند جهد أطراف قدره 228 V والدائرة مفتوحة ، وعند جهد قدره 225 V مع تحميل قدره 15 A ؟

## مسائل على القدرة P

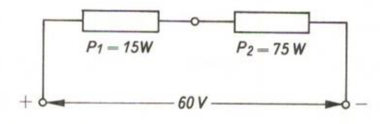
٢٦ – ٢٥




| التوصيل على التوالي | R (Ω) | U (V) | I (A) | P (W) |
|---|---|---|---|---|
| ١) للمقاومة $R_1$ | 2 | 6 | 3 | 18 |
| ٢) للمقاومة $R_2$ | 6 | 18 | 3 | 54 |
| القيم الكلية | 8 | 24 | 3 | 72 |

دقق الآتي في الجدول السابق :
أ) $R = U \div I$ و $P = U \cdot I$ في كل سطر ب) أربعة قوانين للتوصيل على التوالي رأسيا ج) النسبة 1:3:4 لقيم $R - U - P$ د) كيفية تغير قيم كل من R و U و I و P إذا ضوعف $U_t = 24\ V$ إلى 48 V ؟

٢٦ – ٢٦ احسب القيم الناقصة : R و U و I و P في الجدول الآتي :




| التوصيل على التوالي | R (Ω) | U (V) | I (A) | P (W) |
|---|---|---|---|---|
| ١) للمقاومة $R_1$ | ? | ? | ? | 15 |
| ٢) للمقاومة $R_2$ | ? | ? | ? | 75 |
| القيم الكلية | ? | 60 | ? | ? |

تسلسل خطوات الحل : $P_t \rightarrow I_t \rightarrow I_1 \rightarrow U_1 \rightarrow R_1$ ... إلخ

٢٦ – ٢٧ احسب جميع قيم R و U و I و P لاتصال على التوالي لمقاومتين بمعلومية القيم المقاسة التالية :

أ) $R_1 = 3{,}5\ \Omega$; $R_2 = 16{,}5\ \Omega$; $P_t = 180\ W$
ب) $U_t = 220\ V$; $P_t = 242\ W$; $R_2 = 40\ \Omega$;
ج) $P_1 = 750\ W$; $P_2 = 375\ W$; $I = 5\ A$;
د) $P_1 = 90\ W$; $P_2 = 270\ W$; $R_t = 40\ \Omega$;
هـ) $U_t = 210\ V$; $R_t = 30\ \Omega$; $P_1 = 490\ W$;
و) $U_t = 110\ V$; $I = 1{,}4\ A$; $P_2 = 120\ W$;
ز) $R_t = 72\ \Omega$; $P_t = 5\ kW$; $P_1 = 2\ kW$;

٢٦ – ٢٨ يراد توصيل كشاف ذي مصباح متوهج 500 W/245 V مع مقاومة توال إضافية $R_s$ على جهد مستمر 600 V .
أ) لأي شدة تيار يجب تصميم $R_s$ ب) كم أوما يجب أن تبلغ $R_s$ ؟

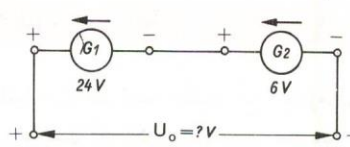
٢٦ – ٢٩ وصّل المصباح المتوهج رقم (١)(القيم الإسمية 25W/110 V) على التوالي مع المصباح المتوهج رقم (٢) (القيم الإسمية 60 W/110 V) على 220 V احسب :
أ) المقاومتين الإسميتين للمصباحين بدلالة كل من $U_N$ و $P_N$ ب) التيار في حالة التوصيل على التوالي ج) جهدي التشغيل للمصباحين $U_1$ و $U_2$ د) القدرة المستهلكة في كل من المصباحين .
ما رأيك في توزيع الجهد والقدرة؟ يهمل تأثير الحرارة على مقاومة المصابيح .

٢٦ – ٣٠ يراد توصيل موقد كهربائي 4 kW/220 V بموصل من النحاس مزدوج الأسلاك طوله 16 m ومساحة مقطعه $2{,}5\ mm^2$ على شبكة 220 V .
أ) احسب شدة التيار المار في حالة التشغيل الإسمي؟
ب) احسب لحالة التشغيل الإسمي الفرق ΔU بين جهد الشبكة وجهد الموقد . ج) ما هو جهد الشبكة اللازم عندئذ؟
د) أعط ΔU كنسبة مئوية (%) من الجهد الإسمي؟
هـ) كيف يمكن أن تتغير ΔU إذا شغل الموقد عند 50% فقط من قدرته الإسمية؟

٢٦ – ٣١ محرك يعمل بالتيار المستمر قدرته 7,36 kW يمر به تيار قدره 42 A عند التحميل الإسمي على الجهد الإسمي 220 V . وصّل المحرك عن طريق موصل نحاسي مزدوج الأسلاك طوله 70 m ومساحة مقطعه $2 \cdot 10\ mm^2$ على شبكة التوزيع المجاورة . احسب لحالة التشغيل الإسمي للمحرك :
أ) الكفاية (η) ب) الفقد في الجهد ΔU في الموصل ج) الجهد الكلي اللازم في الشبكة د) ΔU كنسبة مئوية من الجهد الإسمي هـ) ΔU عند التشغيل بنسبة 30% من التيار الإسمي .

### توصيل منابع الجهد على التوالي

٢٦ – ٣٢ وصّل على التوالي مولدا تيار مستمر $G_1$ (جهد الدائرة المفتوحة أي جهد اللاحمل = 24 V) و $G_2$ (جهد الدائرة المفتوحة = 6 V) .




احسب جهد الدائرة المفتوحة الكلي $U_o$ في الحالات التالية :
أ) كلاهما يغذيان في نفس الاتجاه ب) عكس طرفا $G_2$
ج) يعمل $G_2$ كمولد للتيار المتردد جهده ± 6 V .

٢٦ – ٣٣ يراد تركيب البطاريات التالية بتوصيل خلايا جافة على التوالي (جهد الدائرة المفتوحة 1,5 V والمقاومة الداخلية 0,12 Ω) . اوجد القيم الناقصة بالجدول .

| التمرين | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| جهد الدائرة المفتوحة $U_o$ | 3 V | 4,5 V | 12 V |
| العدد اللازم من الخلايا n | ? | ? | ? |
| المقاومة الداخلية $R_i$ | ? | ? | ? |
| ΔU (عند تيار تحميل 2 A) | ? | ? | ? |
| $U_{term}$ (عند تيار تحميل 2 A) | ? | ? | ? |
| تيار دائرة القصر $I_{sh}$ | ? | ? | ? |

مثال للحل لجهد الدائرة المفتوحة 6 V :

$n \quad = U_o \div U_1 = 6 \div 1{,}5 \triangleq 4$ (خلايا)

$R_i \quad = n \cdot R_1 = 4 \cdot 0{,}12\ \Omega = 0{,}48\ \Omega$

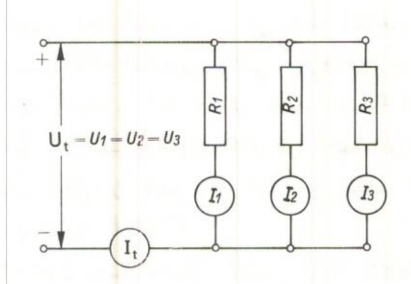
$\Delta U \quad = I \cdot R_i = 2\ A \cdot 0{,}48\ \Omega = 0{,}96\ V$

$U_{term} = U_o - \Delta U = 6\ V - 0{,}96\ V = 5{,}04\ V$

$I_{sh} \quad = U_o \div R_i = 6\ V \div 0{,}48\ \Omega = 12{,}5\ A$

٢٦ – ٣٤ كم عدد الخلايا $(U_o = 1{,}5 V / R_i = 0{,}25\ \Omega)$ اللازمة لقيم التشغيل التالية عند الأطراف :
أ) 10 V/1 A ب) 14 V/0,4 A ج) 18 V/2 A .

## قواعد التوصيل على التوازي




توصّل المصابيح الكهربائية والأجهزة على التوازي بجهدها الإسمي 220 V في شبكة الإنارة على سبيل المثال. ويمكن وصلها أو فصلها مستقلة عن بعضها.

الصفة المميزة للتوصيل على التوازي:

تكون كل المقاومات موصلة على نفس الجهد U.

| يكون الجهد U متساويا دائما |
|---|

من التجربة تبين لنا القياسات أن:

$$\frac{I_t}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} + \frac{I_3}{U}$$

$$I_t \cdot U = I_1 \cdot U + I_2 \cdot U + I_3 \cdot U$$

$$\frac{1/R_1}{1/R_2} = \frac{U/R_1}{U/R_2} = \frac{U^2/R_1}{U^2/R_2}$$

| |
|---|
| $I_t = I_1 + I_2 + I_3 ...$ |
| $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} ...$ |
| $P_t = P_1 + P_2 + P_3 ...$ |
| $\frac{G_1}{G_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{P_1}{P_2}$ |

بجمع التيارات الجزئية $I_1$ (خلال $R_1$)، $I_2$ (خلال $R_2$) ... الخ نحصل على التيار الكلي $I_t$.

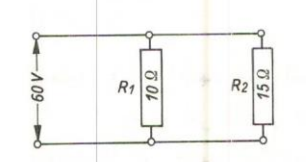
إذا ما قسم طرفا المعادلة على U فإننا نحصل على الصيغة الرياضية للقيمة المقلوبة $1/R_t$.

إذا ضرب طرفا المعادلة في U فإننا نحصل على الصيغة الرياضية للقدرة $P_t$.

عند نفس الجهد U تكون قيم المواصلة والتيارات والقدرات متناسبة طردياً.

مثال:

احسب جميع قيم U و I و P و R للدائرة:




الحل:

$I_1 = U \div R_1 = 6\ A$    $P_1 = U \cdot I_1 = 360\ W$

$I_2 = U \div R_2 = 4\ A$    $P_2 = U \cdot I_2 = 240\ W$

$I_t = I_1 + I_2 = \underline{10\ A}$    $P_t = P_1 + P_2 = \underline{600\ W}$

$R_t = U \div I_t = \underline{6\ \Omega}$

الجهد U (متساو في جميع الأجزاء) = $\underline{60\ V}$.

## مقاومة التوازي الكلية

تتناسب التيارات الفرعية عكسيا مع المقاومات. لنفس الجهد U يمر أكبر تيار في أصغر مقاومة لأن $I_t$ أكبر من أي تيار فرعي ويجب أن تكون $R_t$ أصغر من أي مقاومة فرعية.

| $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ |
|---|

يمكن حساب المقاومة الكلية الصغيرة من المقاومات الفرعية. أمثلة:

١) باستعمال الصيغة الرياضية لمقلوب المقاومة 1/R.
10 Ω، 5 Ω، 2 Ω

٢) باستعمال المواصلة 10 Ω، 5 Ω، 2 Ω

٣) باستعمال مقاومات متساوية
15 Ω، 15 Ω، 15 Ω

٤) باستعمال مقاومتين فقط 15 Ω، 10 Ω

| |
|---|
| $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} ...$ |
| $G_t = G_1 + G_2 + G_3 ...$ |
| $R_t = \frac{\text{مقاومة واحدة}}{m}$ |
| $R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ |

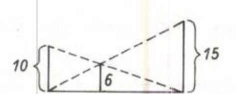
$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{2\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega} + \frac{1}{10\ \Omega} = \frac{0{,}8}{\Omega};\ \frac{R_t}{1} = \underline{1{,}25\ \Omega}$

$G_t = 0{,}5\ S + 0{,}2\ S + 0{,}1\ S = 0{,}8\ S;\ R_t = \underline{1{,}25\ \Omega}$

$R_t = \frac{15\ \Omega}{3} = \underline{5\ \Omega}$ (في هذه الحالة 3 = m = عدد المقاومات على التوازي)

$R_t = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15}\ \Omega = \underline{6\ \Omega}$ (قارن بالمثال أعلاه)

٥) الحل بالرسم لمقاومتين
15 Ω، 10 Ω




ارسم $R_1$ و $R_2$ بمقياس رسم موحد رأسيا على خط القاعدة الأفقي. صل النهايتين لتتقاطعا. تبين المسافة الرأسية من نقطة التقاطع إلى القاعدة قيمة المقاومة الكلية $R_t$.

## توصيل منابع الجهد على التوازي

مثال: $R_i = R_b \div 2 = 0{,}1\ \Omega$

عند كل نقطة $U_o = 1{,}5\ V$

$U_{term} = U_o - I \cdot R_i = 1{,}3\ V$

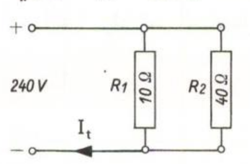
2A   +   −   1,5 V   1,5 V   $U_{term}$

$R_i = 0{,}2\ \Omega$ لكل خلية

تعطي منابع الجهد المتصلة على التوازي جهد أطراف متساو. ويجب أن يكون لها نفس جهد الدائرة المفتوحة ونفس المقاومة الداخلية (وإلا مرت تيارات تعادل خطرة) وتصبح المقاومة الداخلية الكلية أصغر بينما يتوزع تيار التحميل على الخلايا.

تمرينات

٢٧ – ١ دوّن كل القيم المقاسة للدائرة في جدول ثم دقق بطريقة الكلمات المتقاطعة : ينطبق قانون أوم في كل سطر أفقيّ بينما تنطبق رأسيا قواعد التوصيل على التوازي :




| توصيل على التوازي | I (A) | U (V) | R (Ω) |
|---|---|---|---|
| ١) للمقاومة $R_1$ | ? | ? | 10 |
| ٢) للمقاومة $R_2$ | ? | ? | 40 |
| القيم الكلية | ? | 240 | ? |

تسلسل خطوات الحل : $U_1 \to U_2 \to I_1 \to I_2 \to I_t \to R_t$

٢٧ – ٢ وصّلت مقاومتان كل منهما 40 Ω على التوازي على 220 V . احسب :

أ ) التيارات الجزئية والتيار الكلي ب) المقاومة الكلية $R_t = U \div I_t$

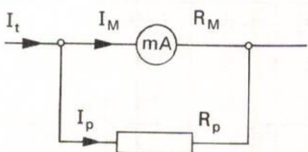
ج) المقاومة الكلية بالطرق الخمس المذكورة في اللوحة (٢٧) .

٢٧ – ٣ احسب جميع قيم I و U و R للتوصيل على التوازي لمقاومتين . دقق النتائج في جدول طبقا لطريقة الكلمات المتقاطعة :

| | | | |
|---|---|---|---|
| أ ) | $R_1 = 20\,\Omega$ | $R_2 = 60\,\Omega$; | $I_t = 10\,A$; |
| ب) | $I_1 = 4\,A$ | $I_2 = 8\,A$; | $U = 60\,V$; |
| ج) | $R_1 = 30\,\Omega$ | $I_1 = 0{,}3\,A$; | $I_t = 0{,}9\,A$; |
| د ) | $U = 24\,V$ | $I_t = 0{,}8\,A$; | $R_1 = 40\,\Omega$; |
| هـ ) | $I_1 = 0{,}5\,A$ | $R_1 = 24\,\Omega$; | $R_2 = 16\,\Omega$. |

٢٧ – ٤ يراد استخدام جهاز مليّ أمبيرمتر $(R_M = 20\,\Omega,\ I_M = 3\,mA)$ لقياس تيارات أعلى من مجال قياسه . احسب :

مقاومة المجزئ $R_p$ الواجب إدخالها على التوازي لقياس تيار كلي حتى : أ) $I_t = 0{,}3\,A$ ب) $I_t = 1{,}2\,A$ ج) $I_t = 6\,A$




٢٧ – ٥ احسب ما يلي للتوصيلات على التوازي :

أ ) المقاومة الكلية $R_t$

١ – بواسطة الصيغة الرياضية لمقلوب المقاومة $1/R_t$

٢ – بواسطة القاعدة الحسابية «حاصل الضرب مقسوما على المجموع» .

ب) الجهد الكلي U

ج) التيارات الفرعية (الجزئية) $I_1$ إلى $I_4$

$I_t = 12\,A$ ; U ; $R_1$ = 18 Ω ; $R_2$ = 12 Ω ; $R_3$ = 9 Ω ; $R_4$ = 4 Ω

٢٧ – ٦ وصّل مصباح متوهج 500 Ω على 220 V ، وكان يسري بالتوازي مع تيار المصباح ما يلي :

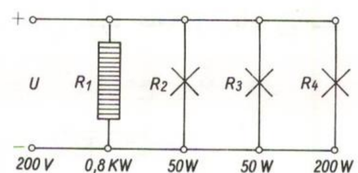
أ ) تيار القياس في ڤولطمتر مقاومته 100 kΩ

ب) تيار تسرب خلال عزل الموصل ذي مقاومة قدرها 1 MΩ .

احسب التيارين كنسبة مئوية من تيار المصباح .

## مسائل على القدرة P.

٢٧ – ٧ دوّن كلّاً من القيم R و U و I و P في جدول . أثبت أفقيا أن $I = U \div R$ ، $P = U \cdot I$ ورأسيا تطبيق قواعد التوصيل على التوازي :



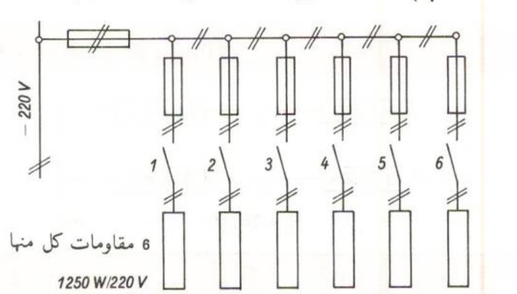

| توصيل على التوازي | P (W) | I (A) | U (V) | R (Ω) |
|---|---|---|---|---|
| ١) للمقاومة $R_1$ | 800 | ? | ? | ? |
| ٢) للمقاومة $R_2$ | 50 | ? | ? | ? |
| ٣) للمقاومة $R_3$ | 50 | ? | ? | ? |
| ٤) للمقاومة $R_4$ | 200 | ? | ? | ? |
| القيم الكلية | ? | ? | 200 | ? |

٢٧ – ٨ المطلوب اختيار مقاومة تواز $R_2$ الواجب توصيلها مع المقاومة $R_1 = 100\,\Omega$ بحيث تسحبان معا قدرة 1500 W عند توصيلهما على جهد 220 V . احسب مقدار $R_2$ .

٢٧ – ٩ تتم تدفئة مستودع بواسطة ستة مسخنات اسطوانية (كل منها 220 V/1250 W) متصلة على التوازي .

احسب القدرة الكلية والتيار الكلي والمقاومة الكلية عند توصيل العدد التالي من المسخنات في الدائرة :

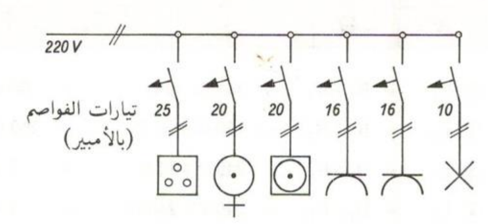
أ) 1 ب) 2 ج) 3 د) 4 هـ) 5 و) 6




٢٧ – ١٠ احسب لشبكة التوزيع بمسكن :

أ ) قيمة الحمل المسموح به ( القدرة الإسمية بالواط) لكل دائرة تيار .

ب) القدرة الكلية للشبكة والتيار الكلي والمقاومة الكلية عند التحميل الكامل للشبكة في وقت واحد .



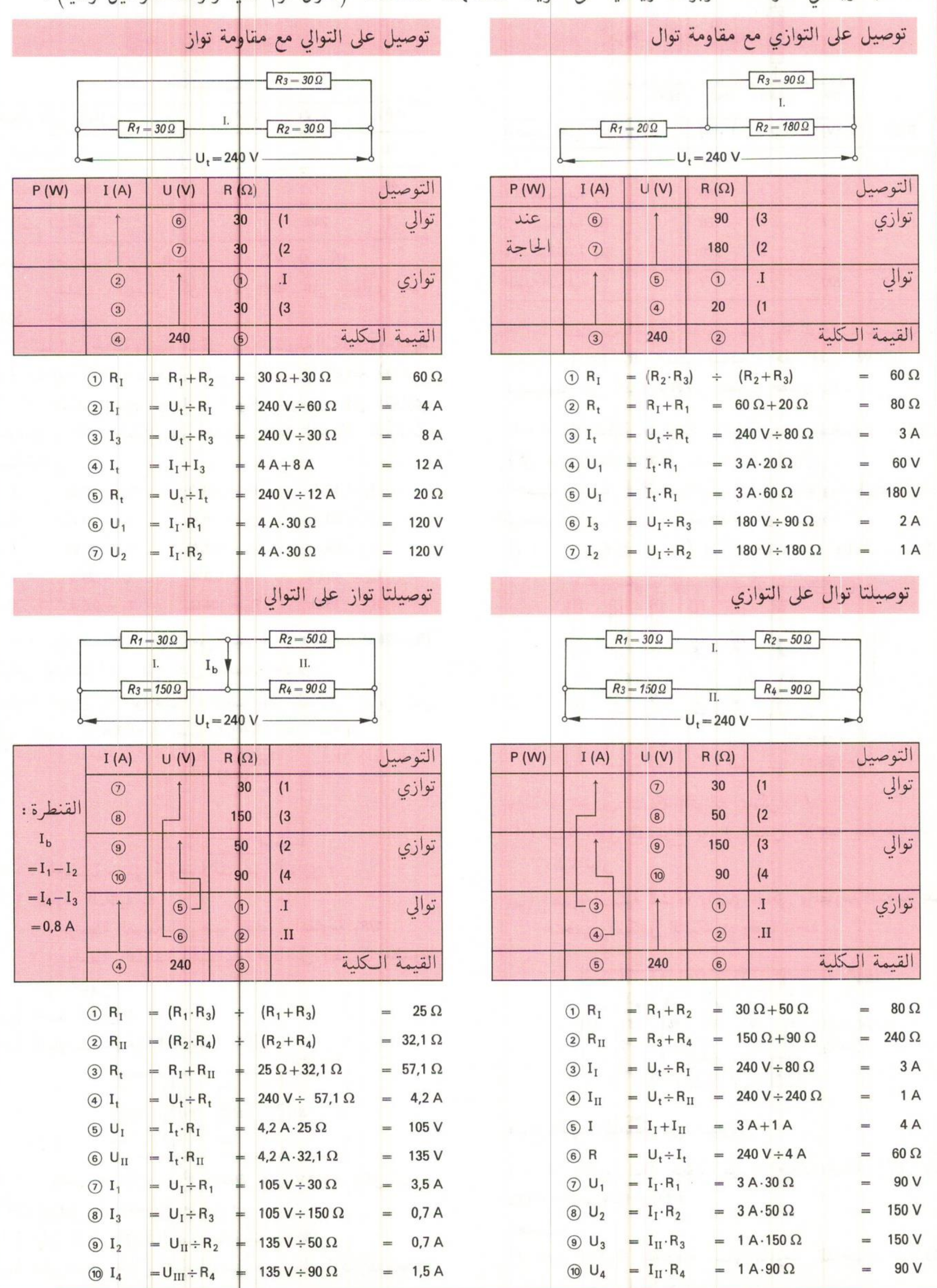

## منابع الجهد الموصلة على التوازي

٢٧ – ١١ بطارية تواز مكونة من 3 خلايا جافة (لكل منها $R_i = 0{,}3\,\Omega$, و $U_o = 1{,}5\,V$) :

احسب :

أ) جهد الدائرة المفتوحة ب) المقاومة الداخلية ج) فقد الجهد وجهد الأطراف لتيار 2 A .

يمكن تحويل (تحليل) الـكثير من التوصيلات المركبة إلى توصيلات على التوالي (التيار متساو في جميع أجزاء الدائرة) وتوصيلات على التوازي (الجهد متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة) . يسمح بأن يكون لكل دائرة فرعية مدخل واحد ومخرج واحد فقط للتيار . توضح الأمثلة الأربعة المبينة كيف يمكن حساب قيم I و U و R في دائرة ما ، والحل على هيئة جداول يوفر مجهود الـكتابة ويعطي نظرة عامة وبرهانا رياضيا على طريقة «الـكلمات المتقاطعة» (قانون أوم أفقيا وقواعد التوصيل رأسياً) .



## توصيل على التوازي مع مقاومة توال



| التوصيل | | R (Ω) | U (V) | I (A) | P (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| توازي | (3 | 90 | ↑ | ⑥ | عند |
| | (2 | 180 | | ⑦ | الحاجة |
| توالي | .I | ① | ⑤ | ↑ | |
| | (1 | 20 | ④ | | |
| القيمة الـكلية | | ② | 240 | ③ | |

① $R_I = (R_2 \cdot R_3) \div (R_2 + R_3) = 60\ \Omega$

② $R_t = R_I + R_1 = 60\ \Omega + 20\ \Omega = 80\ \Omega$

③ $I_t = U_t \div R_t = 240\ V \div 80\ \Omega = 3\ A$

④ $U_1 = I_t \cdot R_1 = 3\ A \cdot 20\ \Omega = 60\ V$

⑤ $U_I = I_t \cdot R_I = 3\ A \cdot 60\ \Omega = 180\ V$

⑥ $I_3 = U_I \div R_3 = 180\ V \div 90\ \Omega = 2\ A$

⑦ $I_2 = U_I \div R_2 = 180\ V \div 180\ \Omega = 1\ A$

## توصيل على التوالي مع مقاومة تواز



| التوصيل | | R (Ω) | U (V) | I (A) | P (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| توالي | (1 | 30 | ⑥ | ↑ | |
| | (2 | 30 | ⑦ | | |
| توازي | .I | ① | ↑ | ② | |
| | (3 | 30 | | ③ | |
| القيمة الـكلية | | ⑤ | 240 | ④ | |

① $R_I = R_1 + R_2 = 30\ \Omega + 30\ \Omega = 60\ \Omega$

② $I_I = U_t \div R_I = 240\ V \div 60\ \Omega = 4\ A$

③ $I_3 = U_t \div R_3 = 240\ V \div 30\ \Omega = 8\ A$

④ $I_t = I_I + I_3 = 4\ A + 8\ A = 12\ A$

⑤ $R_t = U_t \div I_t = 240\ V \div 12\ A = 20\ \Omega$

⑥ $U_1 = I_I \cdot R_1 = 4\ A \cdot 30\ \Omega = 120\ V$

⑦ $U_2 = I_I \cdot R_2 = 4\ A \cdot 30\ \Omega = 120\ V$

## توصيلتا توال على التوازي



| التوصيل | | R (Ω) | U (V) | I (A) | P (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| توالي | (1 | 30 | ⑦ | ↑ | |
| | (2 | 50 | ⑧ | | |
| توالي | (3 | 150 | ⑨ | ↑ | |
| | (4 | 90 | ⑩ | | |
| توازي | .I | ① | ↑ | ③ | |
| | .II | ② | | ④ | |
| القيمة الـكلية | | ⑥ | 240 | ⑤ | |

① $R_I = R_1 + R_2 = 30\ \Omega + 50\ \Omega = 80\ \Omega$

② $R_{II} = R_3 + R_4 = 150\ \Omega + 90\ \Omega = 240\ \Omega$

③ $I_I = U_t \div R_I = 240\ V \div 80\ \Omega = 3\ A$

④ $I_{II} = U_t \div R_{II} = 240\ V \div 240\ \Omega = 1\ A$

⑤ $I = I_I + I_{II} = 3\ A + 1\ A = 4\ A$

⑥ $R = U_t \div I_t = 240\ V \div 4\ A = 60\ \Omega$

⑦ $U_1 = I_I \cdot R_1 = 3\ A \cdot 30\ \Omega = 90\ V$

⑧ $U_2 = I_I \cdot R_2 = 3\ A \cdot 50\ \Omega = 150\ V$

⑨ $U_3 = I_{II} \cdot R_3 = 1\ A \cdot 150\ \Omega = 150\ V$

⑩ $U_4 = I_{II} \cdot R_4 = 1\ A \cdot 90\ \Omega = 90\ V$

## توصيلتا تواز على التوالي



| التوصيل | | R (Ω) | U (V) | I (A) | |
|---|---|---|---|---|---|
| توازي | (1 | 30 | ↑ | ⑦ | القنطرة : |
| | (3 | 150 | | ⑧ | $I_b$ |
| توازي | (2 | 50 | ↑ | ⑨ | $= I_1 - I_2$ |
| | (4 | 90 | | ⑩ | $= I_4 - I_3$ |
| توالي | .I | ① | ⑤ | ↑ | $= 0{,}8\ A$ |
| | .II | ② | ⑥ | | |
| القيمة الـكلية | | ③ | 240 | ④ | |

① $R_I = (R_1 \cdot R_3) \div (R_1 + R_3) = 25\ \Omega$

② $R_{II} = (R_2 \cdot R_4) \div (R_2 + R_4) = 32{,}1\ \Omega$

③ $R_t = R_I + R_{II} = 25\ \Omega + 32{,}1\ \Omega = 57{,}1\ \Omega$

④ $I_t = U_t \div R_t = 240\ V \div 57{,}1\ \Omega = 4{,}2\ A$

⑤ $U_I = I_t \cdot R_I = 4{,}2\ A \cdot 25\ \Omega = 105\ V$

⑥ $U_{II} = I_t \cdot R_{II} = 4{,}2\ A \cdot 32{,}1\ \Omega = 135\ V$

⑦ $I_1 = U_I \div R_1 = 105\ V \div 30\ \Omega = 3{,}5\ A$

⑧ $I_3 = U_I \div R_3 = 105\ V \div 150\ \Omega = 0{,}7\ A$

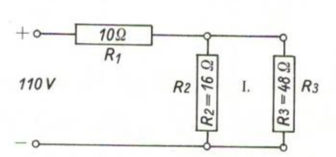
⑨ $I_2 = U_{II} \div R_2 = 135\ V \div 50\ \Omega = 0{,}7\ A$

⑩ $I_4 = U_{III} \div R_4 = 135\ V \div 90\ \Omega = 1{,}5\ A$

## تمرينات

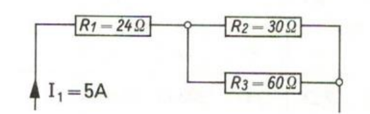
٢٨ – ١ دقق جميع قيم R و U و I لهذه الدائرة في الجدول التالي، ينطبق أفقيا في كل سطر R=U÷I وتنطبق رأسيا قوانين التوصيل المختلفة.

مسألة: احسب مرة أخرى باستخدام المقاومة $R_1=8\,\Omega$ (بدلا من $10\,\Omega$).



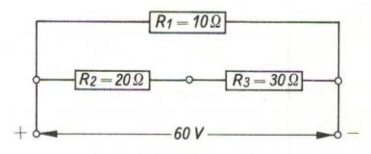

| I (A) | U (V) | R (Ω) | | التوصيل |
|---|---|---|---|---|
| 3,75 | 60 | 16 | $R_2$ | توازي |
| 1,25 | 60 | 48 | $R_1$ | |
| 5 | 60 | 12 | (I | توالي |
| 5 | 50 | 10 | $R_1$ | |
| 5 | 110 | 22 | | القيم الكلية |

٢٨ – ٢ احسب قيم كل من R و U و I.

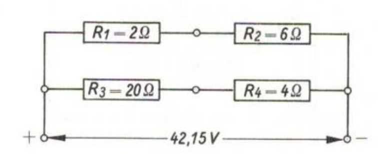



| I (A) | U (V) | R (Ω) | | التوصيل |
|---|---|---|---|---|
| ? | ? | 30 | $R_2$ | توازي |
| ? | ? | 60 | $R_3$ | |
| ? | ? | ? | (I | توالي |
| 5 | ? | 24 | $R_1$ | |
| ? | ? | ? | | القيم الكلية |

٢٨ – ٣ احسب قيم كل من R و U و I.



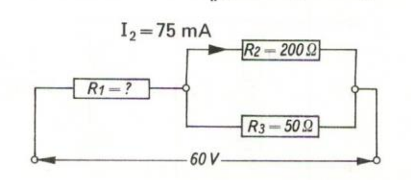

٢٨ – ٤ احسب قيم كل من R و U و I:




٢٨ — ٥ وصّلت النقطتان المتوسطتان في الدائرة المبينة أعلاه بواسطة قنطرة عرضية بحيث تتكون توصيلتان على التوازي. (انظر ٢٨ — ٤)

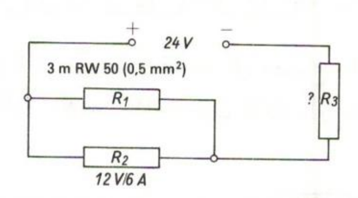
احسب قيم كل من R و U و I للدائرة الجديدة.

٢٨ — ٦ احسب مقاومة التوالي $R_1$:

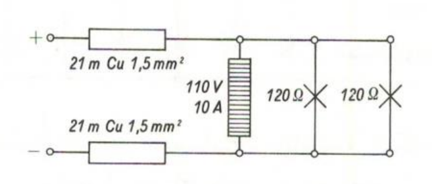



٢٨ — ٧ وصّلت مقاومة ثالثة $R_3=7,6\,\Omega$ على التوالي مع مقاومتين متصلتين على التوازي $R_1=6\,\Omega$ و $R_2=4\,\Omega$. ما مقدار المقاومة الكلية $R_t$؟

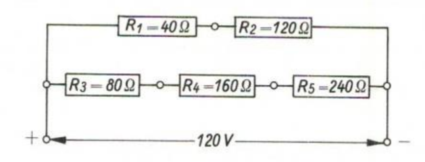
٢٨ — ٨ اوجد قيمة المقاومة $R_3$، إذا لزم تشغيل $R_2$ عند 12 V/6 A ؟



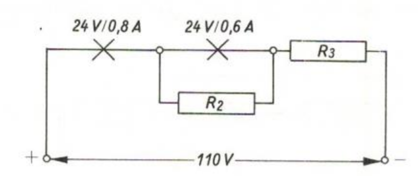

٢٨ – ٩ احسب قيم كل من R و U و I للدائرة التالية:




٢٨ – ١٠ احسب قيم كل من R و U و I:

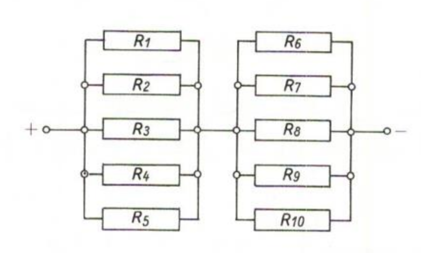



٢٨ — ١١ أوجد قيم المقاومتين $R_2$ و $R_3$ للدائرة التالية:

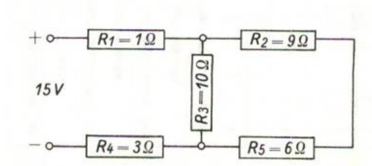



٢٨ – ١٢ تكوّن 10 فتائل تسخين (كل منها $20\,\Omega$) مجموعتين تضم كل منهما 5 مقاومات موصلة على التوازي وكلتا المجموعتين متصلتان على التوالي بجهد $U_t=220$ V. احسب كلا من التيار الكلي والجهود والتيارات الفرعية لكل فتيلة تسخين:

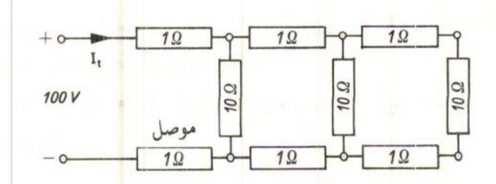
أ) للدائرة الأصلية ب) ما الذي يجب الانتباه إليه إذا ما احترقت المقاومات $R_1$ و $R_2$ و $R_3$ و $R_7$ فجأة؟



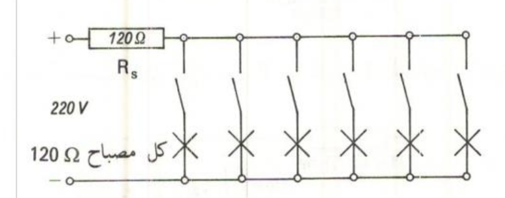

٢٨ – ١٣ احسب قيم كل من R و U و I:



٢٨ — ١٤ احسب التيار الكلي لخط التغذية



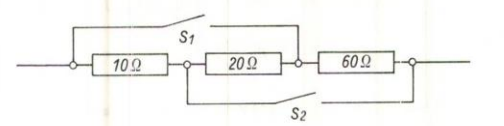

٢٨ – ١٥ إذا تم التعويض عن مقاومة كل مصباح (110 V/100 W) في المسألة التالية بالقيمة 120 Ω دون النظر إلى درجة حرارة التشغيل ،



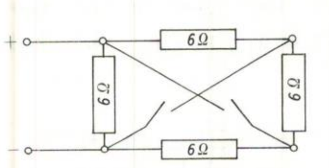

احسب مقاومة التوازي للمصابيح ، والمقاومة الكلية وجهد المصابيح ، عند توصيل مصباح واحد أو مصباحين أو ثلاثة أو أربعة أو خمسة أو ستة مصابيح .

| التمرين | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| عدد المصابيح | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

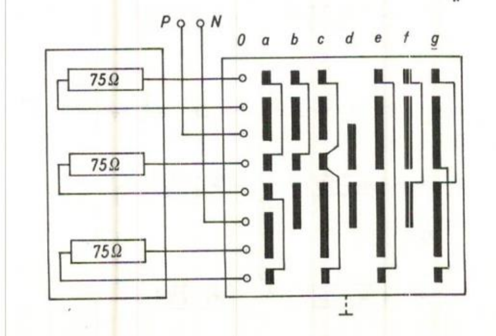
٢٨ — ١٦ احسب المقاومة الكلية في الدائرة الموضحة أدناه إذا كان :
أ ) كلا المفتاحين مفصولين ب) المفتاح $S_1$ فقط موصّل
ج) المفتاح $S_2$ فقط موصّل د ) كلا المفتاحين موصّلين



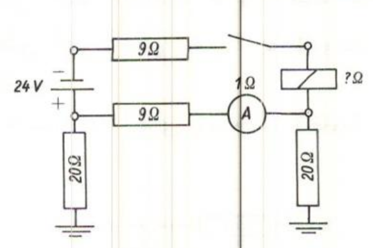

٢٨ – ١٧ احسب المقاومة الكلية :
أ ) للمفاتيح المفصولة
ب) لمفتاح واحد موصّل .
ج) لمفتاحين موصّلين (أنظر أسفله) .



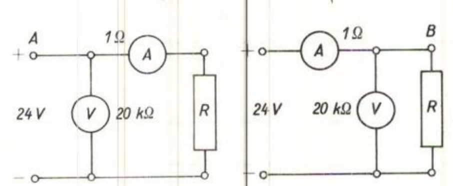

٢٨ — ١٨ احسب المقاومة الكلية والتيار الكلي (الجهد U=225 V) لأوضاع الاتصال من (a) حتى (g) لمفتاح ذي تلامس داري .




٢٨ – ١٩ ما قيمة مقاومة ملف مرحل ، إذا بيّن الامبيرمتر عند وصل المفتاح القراءة 400 mA ؟




٢٨ – ٢٠ تحقق من ملائمة قيم المقاومات المعلومة (R=20 kΩ, R=2 Ω, R=200 Ω) طبقا لقانون أوم . سجّل قراءات وأخطاء القياس التي تعطيها دائرتا القياس التاليتين؟ (قرّب القراءات حتى ثلاثة أرقام . بيانات أجهزة القياس هي 1 Ω و 20 kΩ) . أكمل القيم الناقصة بالجدول .




| الدائرة | A | | | B | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
| R (معلومة) | 20 kΩ | 200 Ω | 2 Ω | 2 Ω | 200 Ω | 20 kΩ |
| قياس الجهد U | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| قياس التيار I | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| R=U÷I | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| النسبة المئوية لخطأ القياس | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

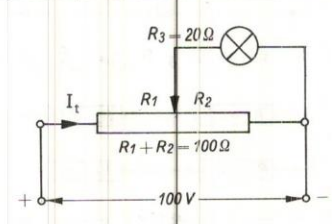
٢٨ – ٢١ احسب جهد المصباح والتيار الكلي لمجزئ جهد محمل في الأوضاع التالية ، مستعينا بمعطيات الدائرة الموضحة :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | 100 Ω | 75 Ω | 50 Ω | 25 Ω | 0 Ω |
| $R_2$ | 0 Ω | 25 Ω | 50 Ω | 75 Ω | 100 Ω |



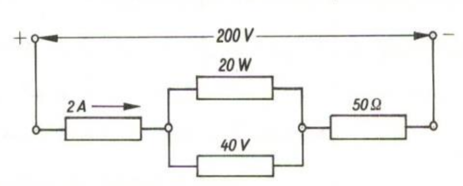
٢٨ – ٢٢ اوجد القراءات التي يبينها الفولطمتر عند القيم المبينة بالجدول في الدائرة الموضحة .

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_1$ | 0 Ω | 10 Ω | 20 Ω | 30 Ω | 60 Ω |
| $R_2$ | 60 Ω | 50 Ω | 40 Ω | 30 Ω | 0 Ω |



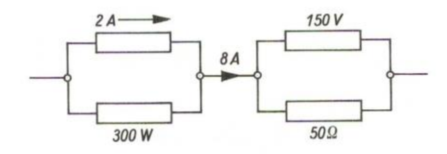
## مسـائل على القدرة P

٢٨ — ٢٣ احسب قيم كل من R و U و I و P .

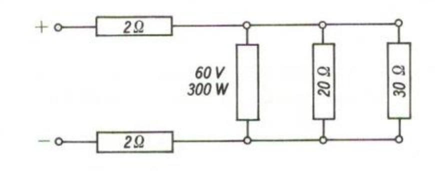



| P (W) | I (A) | U (V) | R (Ω) | | التوصيل |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | ? | ? | ? | $R_2$ | توازي |
| ? | ? | 40 | ? | $R_3$ | |
| ? | ? | ? | ? | I | توالي |
| ? | 2 | ? | ? | $R_1$ | |
| ? | ? | ? | 50 | $R_4$ | |
| ? | ? | 200 | ? | | القيم الـكلية |

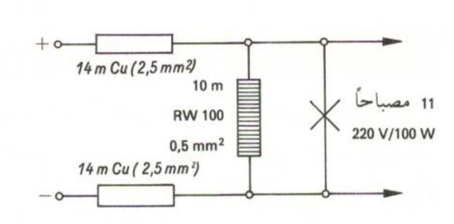
٢٨ — ٢٤ احسب قيم كل من R و U و I و P




٢٨ — ٢٥ احسب قيم كل من R و U و I و P .

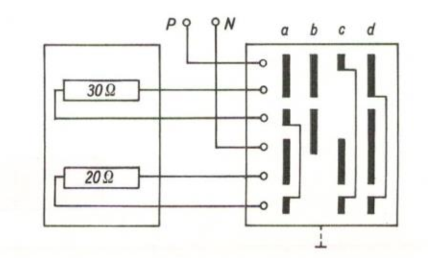



٢٨ – ٢٦ احسب للتركيبة المبينة :
أ ) التيار الـكلي في الموصل ب) فقد الجهد في الموصل
ج) فقد القدرة في الموصل د ) جهد الشبكة اللازم .




٢٨ – ٢٧ حمّل خط إنارة ذو مقاومة قدرها 0,4 Ω تحميلا إضافيا بتوصيل مسخن 220V/2kW . احسب مقدار هبوط الجهد .

٢٨ — ٢٨ احسـب قيمة المقاومـة والقدرة المستهلـكة عند جهد 212 V لجميع أوضـاع التوصيل الموضحة بالرسم؟



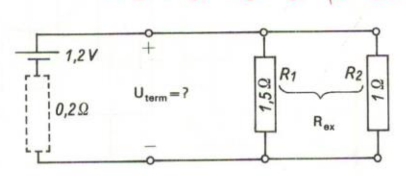

## توصيلات البطاريات

$R_t = R_i + R_{ex}$

$U_o = U_i + U_{term}$

تعتبر المقاومة الداخلية $R_i$ لمنبع الجهد متصلة على التوالي مع المقاومة الخارجية $R_{ex}$ . يقاس الجهد الـكلي $U_o$ في حالة الدائرة المفتوحة . انظر اللوحة (٣١) للـكيمياء الـكهربائية .

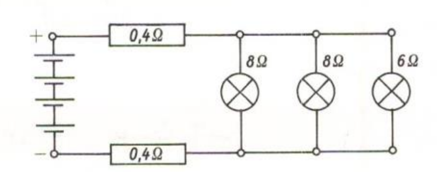
مثال : احسب قيم كل من R و U و I :



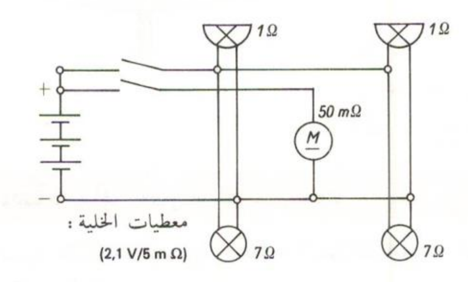

| I (A) | U (V) | R (Ω) | | التوصيل |
|---|---|---|---|---|
| 0,6 | 0,9 | 1,5 | (خارجية) $R_1$ | على التوازي |
| 0,9 | 0,9 | 1 | (خارجية) $R_2$ | |
| 1,5 | 0,9 | 0,6 | (خارجية) $R_{ex}$ | على التوالي |
| 1,5 | 0,3 | 0,2 | (داخلية) $R_i$ | |
| 1,5 | 1,2 | 0,8 | | القيم الـكلية المقابلة للجهد $U_o$ |

٢٨ – ٢٩ أعد حل المثال السـابق مرة أخرى بتوصيل على التوالي مكون من : أ) خليتين (كل منهما 1,2V/0,2 Ω) ب) 3 خلايا (كل منها 1,2V/0,2 Ω) ثم دوّن $U_o$ و $R_i$ فورا كقيم كلية في جدول التوصيل .

٢٨ – ٣٠ احسب قيم كل من R و U و I لتوصيلة البطاريات التـالية . لكـل خـلية جهد دائـرة مفتوحـة $U_o = 1,5$ V ومقاومة داخلية $R_i = 0,2$ Ω .



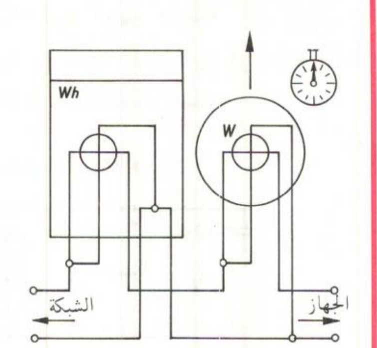

٢٨ — ٣١ اوجد تيار التحميل وجهد الأطراف لبطارية سيارة عند :
أ) حالة الدائرة المفتوحة ب) توصيل الإضـاءة فقط
ج) إذا شغل بادئ الحركة بالإضـافة إلى الحالة (ب) .



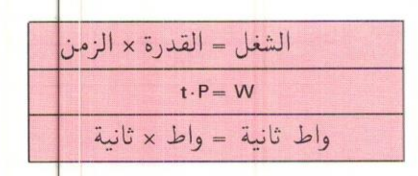

٢٨ — ٣٢ وصّل صفّان كل منهما مكون من 8 خلايا جافة (كل خلية $U_o = 1,5$ V, $R_i = 0,3$ Ω) على التوازي . احسب للبطارية :
أ ) جهد الدائرة المفتوحة ب) المقاومة الداخلية
ج) جهد الأطراف عند تيار تحميل قدره 0,5 A
د ) عند تيار تحميل 5 A .

## الشغل الـكهربائي W

$W = P \cdot t$




يدفع ثمن الشغل الـكهربائي إلى شركة توليد الـكهرباء، إذ إن الأجهزة الـكهربائية الموصلة للشبكة تسحب قدرة. ويزداد الشغل الـكهربائي المبذول W (كمية الحرارة وساعات الإضاءة والـكيلوواط ساعة) بزيادة قدرة الجهاز P، وفترة التشغيل t.



| |
|---|
| الشغل = القدرة × الزمن |
| $t \cdot P = W$ |
| واط ثانية = واط × ثانية |

وحدات الشغل الـكهربائي: واط ثانية (Ws) أو كيلوواط ساعة (kWh)
التحويل الحسابي:

$$1\ kWh = 1000\ Wh =$$
$$= 60 \cdot 1000\ Wmin =$$
$$= 60 \cdot 60 \cdot 1000\ Ws = 3\ 600\ 000\ Ws$$

أمثلة:

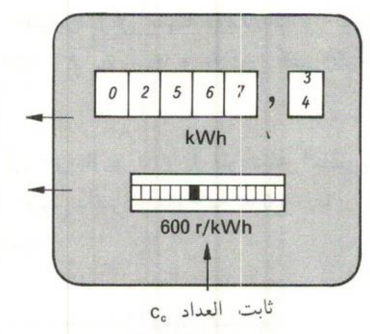
مصباح متوهج 15 W، فترة التشغيل 30 s، اوجد الشغل الـكهربائي.

الحل: $W = P \cdot t = 15\ W \cdot 30\ s = 450\ Ws$

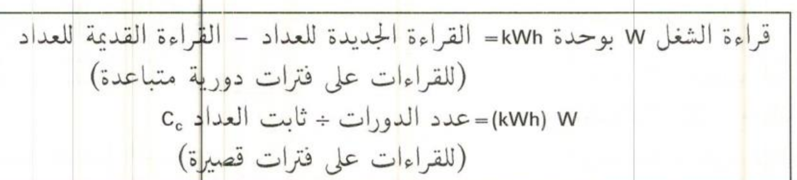
فرن كهربائي قدرته 2kW، فترة التشغيل 4 h، اوجد الشغل الـكهربائي.

الحل: $W = P \cdot t = 2\ kW \cdot 4\ h = 8\ kWh$

يستخدم العداد الـكهربائي كجهاز قياس للشغل وهو يعطي نتيجة قياس تزداد مع زمن التشغيل:




ثابت العداد $C_c$

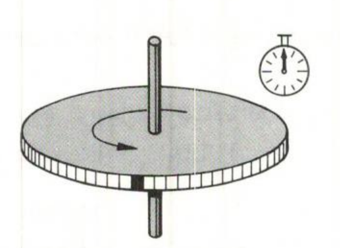


قراءة الشغل W بوحدة kWh = القراءة الجديدة للعداد – القراءة القديمة للعداد
(للقراءات على فترات دورية متباعدة)
W (kWh) = عدد الدورات ÷ ثابت العداد $C_c$
(للقراءات على فترات قصيرة)

مثال: إذا دار قرص العداد المبين 15 دورة. ما مقدار الشغل المستهلك؟

الحل: $W = \frac{15\ r}{600\ r/kWh} = \frac{1}{40}\ kWh = 0{,}025\ kWh = \underline{25\ Wh}$

## قياس القدرة بواسطة العداد



افصل التيار الـكهربائي عن جميع الاجهزة المحملة على العداد، واختبر ما إذا كان قرص العداد ساكنا. صل الجهاز المستهلك المطلوب اختباره فقط. سجل عدد دورات قرص العداد في دقيقة واحدة وليكن n. بضرب القيمة n في 60 نحصل على عدد الدورات في الساعة r/h وعليه يكون:

| | |
|---|---|
| $P_{kW} = \frac{n \cdot 60}{C_c}$ | $kW = \frac{r/h}{r/kWh}$ |

مثال:

تم عد 17 دورة في دقيقة واحدة بعداد ثابته ($C_c$) هو 300 r/kWh. اوجد القدرة.

الحل: $P = \frac{n \cdot 60}{C_c} = \frac{17 \cdot 60\ r/h}{300\ r/kWh} = \frac{17}{5}\ kW = \underline{3{,}4\ kW}$

## تكلفة الطاقة (مع أمثلة للتعريفة)

تحسب التكلفة الشهرية لتغطية استهلاك الطاقة الـكهربائية طبقا لتعريفات محددة.
وتتكون التكلفة من:
(١) السعر الأساسي لتجهيز جميع المنشآت الخاصة بشركة إمداد الـكهرباء
(٢) السعر بالريال لكل كيلوواط ساعة من الشغل المستهلك (الطاقة)

| |
|---|
| التكلفة الشهرية = السعر الأساسي + (الشغل × سعر الشغل) |

تمرينات

## الشغل الكهربائي

٢٩ – ١ حوّل إلى كيلو واط ساعة (kWh):

| أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|
| 250 Wh | 210 Wmin | 36 000 Ws | 0,05 MWh |

ملاحظة: 1 MWh (Mega-Wh) = 1000 kWh

الحل للجزء (ب): $1\ kWh = 60 \cdot 1000\ Wmin$

$1\ Wmin = \frac{1}{60\,000}\ kWh$

$210\ Wmin = \frac{210}{60\,000}\ kWh = \underline{0{,}0035\ kWh}$

٢٩ – ٢ حوّل إلى واط ثانية (Ws):

572 Wmin; 38,5 Wh; 2,7 kWh; 0,25 MWh

٢٩ – ٣ حوّل إلى واط دقيقة (Wmin):

630 Ws; 3,6 Wh; 0,4 kWh; 0,1 MWh

٢٩ – ٤ حوّل إلى واط ساعة (Wh):

5 400 Ws; 450 Wmin; 0,643 kWh; 0,03 MWh

٢٩ – ٥ احسب الشغل الكهربائي بالكيلوواط ساعة لمعطيات التشغيل التالية:

| | الجهاز | قيمة الحمل | الزمن |
|---|---|---|---|
| أ) | مشع حراري (مدفأة) | 1500 W | 2 h |
| ب) | مكواة | 800 W | 1,3 h |
| ج) | كاوية لحام | 150 W | 0,1 h |
| د) | مسخن مياه | 3000 W | 55 min |
| هـ) | مصباح متوهج | 60 W | 12 min |
| و) | مسخن غاطس | 200 W | 2 min 24 s |

الحل للجزء (د):

$W = ?\ kWh$

$P = 3000\ W = 3\ kW;\ t = 55\ min = 55/60\ h$

$W = P \cdot t = 3\ kW \cdot \frac{55}{60}\ h = \frac{55}{20}\ kWh = \underline{2{,}75\ kWh}$

٢٩ – ٦ احسب الشغل الكهربائي بوحدة القياس المعطاة:

| | القدرة P | الزمن t | الشغل الكهربائي W |
|---|---|---|---|
| أ) | 27 kW | 10s | ? Wh |
| ب) | 60 W | 10 min | ? Ws |
| ج) | 2,4 MW | 1 min | ? kWh |
| د) | 300 kW | 50 h | ? MWh |
| هـ) | 50 mW | 6 000 h | ? kWh |
| و) | 4500 W | 1 h 36 min | ? Wh |

الحل للجزء (أ):

$W = ?\ Wh$

$P = 27\ kW = 27\,000\ W;\ t = 10\ s = 10/3600\ h$

$W = P \cdot t = 27\,000\ W \cdot \frac{10}{3600}\ h = \frac{2700}{36}\ Wh = \underline{75\ Wh}$

٢٩ – ٧ احسب القيم الناقصة:

| | القدرة P | الزمن t | الشغل الكهربائي W |
|---|---|---|---|
| أ) | 80 W | 6 min | ? Wh |
| ب) | 5,5 kW | 1800 h | ? MWh |
| ج) | ? kW | 1 min | 150 Wh |
| د) | 1500 W | ? s | 0,075 kWh |
| هـ) | ? W | 48 h | 157 kWh |
| و) | 2,5 kW | ? min | 6,5 kWh |

الحل للجزء (ج):

$P = ?\ kW$

$W = 150\ Wh = 0{,}15\ kWh;\ t = 1\ min = 1/60\ h$

$P = \frac{W}{t} = \frac{0{,}15\ kWh}{1/60\ h} = 0{,}15 \cdot 60\ kW = \underline{9\ kW}$

٢٩ – ٨ وصّلت مقاومة 44 Ω:

أ) لمدة 3 ساعات على 220 V ب) لمدة 4 ساعات على 110 V.

احسب الشغل الكهربائي المستهلك بالكيلوواط ساعة.

الحل للجزء (أ):

$W = ?\ kWh$

$R = 44\ \Omega;\ t = 3\ h;\ U = 220\ V$

$W = P \cdot t = 1{,}1\ kW \cdot 3\ h = \underline{3{,}3\ kWh}$

$P = U^2 \div R = (220\ V)^2 \div 44\ \Omega = 1100\ W = 1{,}1\ kW$

٢٩ – ٩ يمر تيار 100 A لمدة 9 ساعات في خط تغذية ذي مقاومة 0,05 Ω. كم كيلوواط ساعة تفقد في الخط؟

٢٩ – ١٠ يتسرب تيار 25 mA من اللفيفة إلى الجسم نتيجة لخلل في العزل بلا انقطاع لمدة 18 يوما تحت تأثير جهد قدره 110 V. احسب الشغل المستهلك (kWh).

٢٩ – ١١ إذا أخذت وليجة (خرطوشة) تسخين لكاوية لحام كهربائية موصلة على 220 V شغلا كهربائيا قدره 20 Wh في 8 دقائق.

احسب: أ) قيمة الحمل المتصل بالواط ب) مقاومة لفيفة التسخين بالأوم.

٢٩ – ١٢ عند توصيل حمل 220 V/3 000 W هبط جهد التوصيل بمقدار 3 V. احسب مايلي لفترة تشغيل 5 h.

أ) الشغل المستهلك بواسطة الحمل ب) الشغل المستهلك بواسطة خط التغذية الكهربائية الذي يجب أن يدفعه المستهلك.

٢٩ – ١٣ تركت سهوا أضواء الكشافات (القيمة المتوسطة 90 W) لسيارة ركوب مضاءة في مكان الانتظار. والبطارية ذات 6 V يمكنها أن تعطي 60 Ah (أمبير × ساعة). بعد كم من الوقت تفرغ البطارية؟

٢٩ – ١٤ يظل جهاز تلفزيون 300 W مشغّلا طيلة 24 يوما من الساعة 20 حتى الساعة 22.30 ما مقدار الشغل المأخوذ بواسطة الجهاز بالكيلوواط ساعة؟

٢٩ – ١٥ احسب متوسط التيار المسحوب بواسطة محرك يعمل بالتيار المستمر ويستهلك 34,4 kWh في 8,5 h عند توصيله بجهد قدره 225 V.

٢٩ – ١٦ احسب الشغل المعطى من بطارية مصباح جيب بالكيلوواط ساعة بقيم التشغيل المتوسطة التالية:

4 h 15 min; 200 mA; 2,5 V

٢٩ – ١٧ يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية مع أخذ الكفاية في الاعتبار. كم Nm نحصل عليها من 1 kWh، إذا لم يؤخذ الفقد أثناء التحويل في الاعتبار؟

## تمرينات على العدادات

عند الحساب باستخدام ثابت العداد يجب التمييز بين : $C_c$ = ثابت العداد (عدد دورات قرص العداد لكل كيلوواط ساعة) و r = عدد الدورات في زمن معين و n = سرعة الدوران في الدقيقة (عدد دورات قرص العداد في كل دقيقة) .

٢٩ – ١٨ عند تشغيل موقد كهربائي تغيرت قراءة العداد في 8 دقائق من 2544,87 kWh إلى 2545,19 kWh . ما مقدار القدرة المستهلكة؟

٢٩ – ١٩ يبين عداد في مسكن سافر مستأجره لفترة طويلة أن جهازا كهربائيا ترك مشغلا . فإذا تغيرت قراءة العداد في 5 دقائق من 2545,19 kWh إلى 2545,23 kWh .
احسب قيمة الحمل الموصل . أي جهاز يمكن أن يكون ذلك؟

٢٩ – ٢٠ غيّر مسخن مياه قراءة العداد من 2545,23 kWh إلى 2550,03 kWh في زمن تسخين قدره 48 دقيقة . احسب قيمة تحميله بالواط .

٢٩ – ٢١ إذا كان فرن كهربائي 1200 W هو الجهاز المستهلك الوحيد المشغل . عيّن بواسطة قراءة العداد المدة التي تم تشغيل الفرن فيها ، إذا كانت القراءة السابقة هي 06349,8 kWh والقراءة الجديدة هي 06376,3 kWh .

٢٩ – ٢٢ ما مقدار الشغل الكهربائي اللازم لتقديد الخبز إذا دار القرص الدوار في العداد 30 دورة أثناء ذلك ($C_c$=300 r/kWh) .

٢٩ – ٢٣ أثناء عملية عصر الغسيل بالطرد المركزي دار القرص الدوار في العداد ($C_c$=600 r/kWh) لعملية عصر واحدة 4 مرات . احسب الشغل الكهربائي المستهلك أثناء ذلك بالكيلوواط ساعة .

مثال :

كم دورة يدورها قرص عداد ثابته 1500 r/kWh إذا ظل مصباح متوهج 60 W موصلا لمدة دقيقتين؟
طرق الحل :

١) $W = 60\ W \cdot 2\ min = 120\ Wmin = 2\ Wh =$
$= 0{,}002\ kWh;\ 1\ kWh \triangleq 1500$ دورة
$0{,}002\ kWh \triangleq 0{,}002 \cdot 1500 = 3$ دورات

٢) $W = 60\ W \cdot 2\ min = 120\ Wmin = 2\ Wh =$
$= 0{,}002\ kWh;\ W = r/C_c$
$r = W \cdot C_c = 0{,}002 \cdot 1500 = 3$ دورات

٣) $P_{kW} = n \cdot 60/C_c$
$n = P_{kW} \cdot C_c/60 = 0{,}06 \cdot 1500/60 = 1{,}5\ r.p.m.$
$r = 2\ min \cdot n = 3$ دورات (لدقيقتين)

٢٩ – ٢٤ كم دورة يدورها قرص عداد ذو ثابت قدره 1200 r/kWh أثناء زمن المراقبة t=10 s عند تشغيل فرن كهربائي 1500 W؟

٢٩ – ٢٥ حمّل عداد ثابته 300 r/kWh بموقد كهربائي قدرته 2500 W . بعد كم ثانية يكون قرص العداد قد دار عشر دورات؟

٢٩ – ٢٦ يراد تعيين قيمة الحمل للأجهزة الكهربائية التالية بواسطة سرعة دوران قرص العداد (r.p.m.) :

| الجهاز | P (kW) | n (r.p.m.) | $C_c$ (r/kWh) |
|---|---|---|---|
| أ ) مكنسة كهربائية | ? | 5 | 1500 |
| ب) مكواة ثياب | ? | 12 | 1200 |
| ج) مسخن تدفق مستمر | ? | 37,5 | 375 |
| د ) راديو | ? | 1,5 | 900 |
| هـ) مصباح سقف | ? | 3 | 600 |
| و ) غسالة كهربائية | ? | 32 | 480 |

٢٩ – ٢٧ أتم قرص العداد ذو الثابت $C_c$=1200 r/kWh أثناء تشغيل موقد مسطح (طباخة كهربائية) 6 دورات تماما في 12 s . ما القدرة الكهربائية التي يستهلكها الموقد؟

٢٩ – ٢٨ شغّل مشع للأشعة فوق البنفسجية كحمل وحيد على عداد استهلاك منزلي ثابته $C_c$=900 r/kWh . عندئذ دار قرص العداد في دقيقة واحدة 4,5 مرة . كم واط يأخذها المشع ؟

٢٩ – ٢٩ يراد تعيين قيمة الحمل لمسخن مياه بواسطة قراءة العداد إذا عُلم أنه بعد تشغيله كجهاز بمفرده أتم قرص العداد ذو الثابت $C_c$=120 r/kWh ثلاث دورات في 20 s .

٢٩ – ٣٠ يوجد لكل ثابت عداد $C_c$ معامل K ، يمكن بواسطته حساب قيمة الحمل بالواط مباشرة من سرعة الدوران n (انظر الجزء (أ) المحلول) . عيّن هذا المعامل لثوابت العدادات التالية :

| أ | ب | جـ | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 150 r/kWh | 300 r/kWh | 600 r/kWh | 750 r/kWh | 1200 r/kWh | 1500 r/kWh |

الحل للجزء (أ) :

$K = \frac{60 \cdot 1000}{C_c} = \frac{60 \cdot 1000}{150}\ Wmin = 400\ Wmin$

$P_w = n \cdot K = n \cdot 400\ Wmin$

٢٩ – ٣١ كم دورة في الدقيقة يدورها القرص الدوار للعداد ($C_c$=600 r/kWh) إذا وصّلت الأحمال التالية في آن واحد :
مصباح متوهج واحد 100 W
ثلاثة مصابيح متوهجة كل منها 40 W
مكواة ثياب واحدة 0,8 kW
موقد مسطح واحد 1,5 kW
موقد مسطح واحد 1 kW
جهاز راديو واحد 70 W
ثلاجة واحدة 110 W .

٢٩ – ٣٢ تتغير القدرة المستهلكة والتيار المسحوب والمقاومة المكافئة لمحرك يعمل بالتيار المستمر 2,2 kW عند تحميل المحرك . ويراد قياس ذلك بواسطة قرص العداد (375 r/kWh)
احسب P و I و R لجهد 220 V :
أ) عند n=25 r.p.m. ب) عند n=18 r.p.m. .

## تكلفة الطاقة

٢٩ – ٣٣ إذا كان ثمن الشغل 0,07 SR لكل كيلوواط ساعة، فكم تكون التكاليف بالهللة:

أ) لإضاءة مصباح متوهج 60 W لمدة ساعة ب) لتشغيل مكواة 450 W لمدة ساعة ج) لتسخين فرن كهربائي 2500 W لمدة ساعة د) للتشغيل اليومي لثلاجة 100 W إذا كان زمن التشغيل 25%؟

الحل للجزء (أ):

$W = P \cdot t = 60\ W \cdot 1h = 60\ Wh = \underline{0,06\ kWh}$

التكلفة = السعر $\cdot W$

(هللة) $= 0,06 \cdot 0,07\ SR = 0,0042\ SR = \underline{0,42\ HL}$

٢٩ – ٣٤ احسب بواسطة المعطيات بالجدول من أ) حتى و) التكلفة الشهرية للتيار ومنها أسعار الشغل بالريال لكل كيلوواط ساعة بفرض أن السعر متغير تبعا لمقدار الاستهلاك.

| | سعر الشغل (SR/kWh) | السعر الأساسي (للشهر SR) | الاستهلاك الشهري (kWh) |
|---|---|---|---|
| أ) | 0,11 | 3,60 | 32 |
| ب) | 0,11 | 6,00 | 68 |
| ج) | 0,11 | 5,60 | 92 |
| د) | 0,09 | 7,30 | 115 |
| هـ) | 0,09 | 8,60 | 186 |
| و) | 0,09 | 9,80 | 297 |

الحل للجزء (أ):

١ – تكلفة الطاقة:

$3,60\ SR + 32 \cdot 0,11\ SR = \underline{7,12\ SR}$

٢ – سعر الطاقة:

$7,12\ SR \div 32\ kWh = \underline{0,223\ SR/kWh}$

٢٩ – ٣٥ مسكن لأربعة أشخاص مجهز تجهيزا كاملا بالأجهزة الكهربائية يحتاج يوميا إلى 3 kWh للطهي و 1 kWh للثلاجة و 0,8 kWh للغسيل وأسبوعيا إلى 20 kWh للاستحمام وشهريا إلى 24 kWh للإنارة والكي ولتشغيل المذياع 60 W لمدة 5 ساعات يوميا. احسب تكلفة الطاقة الشهرية وسعر التيار على أساس أن الشهر 30 يوما أو 4 أسابيع حسب الحالة. علما بأن تعريفة التشغيل هي 0,07 SR/kWh والسعر الأساسي 2,60 SR/m (ريالا في الشهر).

٢٩ – ٣٦ شغلت الأجهزة التالية بسعر استهلاك أساسي قدره 6,60 SR في الشهر وتعريفة تشغيل 0,11 SR/kWh وهي:

مصباحان متوهجان كل منهما 100 W لمدة 3 ساعات

خمسة مصابيح متوهجة كل منها 40 W لمدة ساعتين

ثلاجة 0,5 kWh

غسالة كهربائية 3 kW لمدة $^3/_4$ ساعة

مسخن مياه كهربائي 2 kW لمدة ساعة واحدة

مشع حراري (مدفأة) 1500 W لمدة ½ ساعة

مكنسة كهربائية 200 W لمدة ¼ ساعة

جهاز تلفزيون 250 W لمدة ساعتين

مكواة كهربائية 500 W لمدة ½ ساعة

وباقي الأجهزة الصغيرة الأخرى معا 200 Wh.

أ) ما مقدار الشغل المستهلك بهذه الأجهزة لمدة 30 يوما؟

ب) كم تبلغ تكلفة الطاقة في الشهر؟

ج) احسب سعر الطاقة.

٢٩ – ٣٧ يشغّل راديو ترانزستور (300 mW/6 V) يوميا لمدة 4 ساعات، وتتكلف مجموعة البطاريات ذات سعة قدرها 3 Ah مبلغ 3,60 SR. ما مقدار التكلفة:

أ) للتشغيل 30 يوما ب) للكيلوواط ساعة (1 kWh)؟

٢٩ – ٣٨ تشغل وليجة تسخين ذات قدرة تبلغ 150 W من خلال الثرموستات 11 ساعة يوميا. إحسب التكلفة الشهرية للتشغيل بسعر شغل قدره 0,095 SR/kWh.

٢٩ – ٣٩ مكواة ثياب للرحلات تستهلك عند تشغيلها لمدة 5 ساعات 0,8 kWh يمكن تحويلها لتعمل على جهد شبكة 110 V أو 220 V دون الحاجة إلى تغيير التركيب الداخلي للمكواة.

أ) كم هللة (HL) تتكلفها لكل ساعة تشغيل بسعر شغل: 0,08 SR/kWh.

ب) ما مقدار الطاقة التي تتحول إلى حرارة إذا وصّلت المكواة وهي على وضع 110 V بطريق الخطأ على 220 V.

٢٩ – ٤٠ يدفع ميكانيكي لورشته شهريا 51 SR كسعر أساسي و 0,08 SR/kWh لمعدل الاستهلاك ويبلغ متوسط الاستهلاك الشهري 1250 kWh. احسب:

أ) تكلفة الشغل الكهربائي بالريال / شهر

ب) سعر الطاقة بالريال لكل kWh.

٢٩ – ٤١ احسب للمنشآت التالية الاستهلاك الشهري للطاقة وتكلفة الطاقة الشهرية علما بأن قيمة الحمل ومدة التشغيل وسعر الشغل الكهربائي كما يلي:

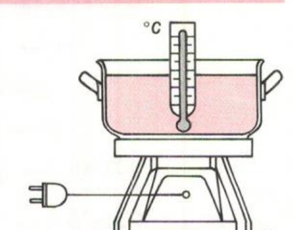
أ) إضاءة إعلان 1200 W موصلة باستمرار 0,10 SR/kWh.

ب) إضاءة الطريق 30 مصباحا قدرة كل منها 500 W تضاء 50% منها لمدة 10 h يوميا بينما 50% الأخرى يومياً 4 h (0,08 SR/kWh).

ج) قاطرة كهربائية لخط حديدي في مصنع، متوسط تحميلها 0,4 MW في 24 يوما علما بأنها كانت تعمل لمدة 5 h يوميا (0,06 SR/kWh).

د) الاستهلاك المنزلي اليومي في 80 000 مسكن في مدينة كبيرة 2,5 kWh (0,07 SR/kWh).

## كمية الحرارة Q




إذا أريد رفع درجة حرارة الماء فإنه يجب إمداده بكمية حرارة Q.
وحدة كمية الحرارة هي : 1 Joule = 1 J = 1 Ws
وهي الطاقة اللازمة للتسخين بالواط ثانية .
1 J (جول Joule) = 1 Ws

4,18 Ws تسخن 1 g من الماء درجة حرارة واحدة 1 K (كلفن) أو 1°C .

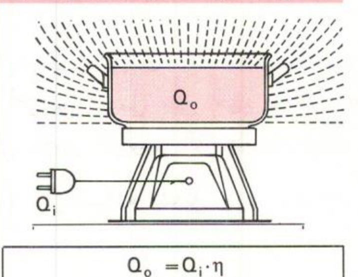
وحدة كمية الحرارة : وتسمى بالسعة الحرارية النوعية c وكانت وحدة الكيلو كالوري (kcal) مستخدمة سابقاً :
1 kcal = 1000 cal. = 4186 J = 4,186 kJ
ويلزم 1 cal لتسخين 1 g من الماء 1°C . تسخن كثير من المواد أسرع من الماء فهي تحتاج إلى قدر أقل من الواط ثانية لنفس الزيادة في درجة الحرارة. ويطلق على كمية الحرارة (Ws) التي تسخن 1 g من المادة 1°C السعة الحرارية النوعية c وتطبق العلاقة التالية على كل المواد :

$$Q = m \cdot \Delta\vartheta \cdot c$$

الوحدات : Ws, g, K, Ws/g K

| السعة الحرارية النوعية c | $\frac{Ws}{g \cdot K}$ |
|---|---|
| ماء | 4,18 |
| هواء | 1,00 |
| ألومنيوم | 0,92 |
| فولاذ | 0,46 |
| نحاس | 0,39 |
| قصدير | 0,21 |

## الحرارة المولدة من الـكهرباء والـكفاية




تكون الطاقة الحرارية المستفادة من أجهزة التسخين الـكهربائية دائماً أقل من الطاقة التي يجب أن يعطيها التيار . فلكل عملية تسخين إذاً درجة كفاية حرارية :

$$\eta = \frac{Q_o}{Q_i}$$

الطاقة المستفادة من الجهاز : $Q_o = m \cdot \Delta\vartheta \cdot c$ (Ws, g, K, Ws/g K)
الطاقة المعطاة : $Q_i = P \cdot t$ (Ws, W, s)

$$Q_o = Q_i \cdot \eta$$

$$m \cdot \Delta\vartheta \cdot c = P \cdot t \cdot \eta$$ (g, K, Ws/g K, W, s)

مثال : احسب الزمن اللازم لكي يرفع مسخن غاطس درجة حرارة 3 l من الماء 60 K (أي 60°C) علماً بأن قدرته 0,5 kW (η = 0,9) .

الحل : $t = \frac{m \cdot \Delta\vartheta \cdot c}{P \cdot \eta} = \frac{3000\ g \cdot 60\ K \cdot 4{,}18\ Ws/gK}{500\ W \cdot 0{,}9} = 1672\ s \approx \underline{28\ min}$

## الحرارة في الموصلات الـكهربائية

فقد القدرة في سلك نحاسي : $P_l = \Delta U \cdot I = I^2 \cdot R_{Cu}$
**القيمة النظرية لتسخين الموصل :** $Q_i = P_l \cdot t$
**التبريد الفوري :** تسخن الموصلات الحاملة للتيار ، وكلما ازداد فرق درجة الحرارة عن الوسط المحيط زادت كمية الحرارة المفقودة من الموصل عن طريق التوصيل أو الحمل أو الإشعاع إلى أن يستقر الموصل عند درجة حرارة نهائية ثابتة ولا يجوز بأي حال من الأحوال أن يصاب عزل الموصل بأي تلف لذلك يختار الفني المتخصص شدة التيار المسموح بها طبقاً لقيم تم تحديدها بالخبرة كالآتي :

(١) للفائف يجب الانتباه إلى كثافة التيار S = I÷A (انظر اللوحة ٢٣)

(٢) لتركيبات المنازل تعطى الجداول طبقاً لتعليمات معينة ويفضل منها *VDE 0100. يبين الجدول المعطى على اليمين موصلات النحاس من المجموعة 1 ويسمح بتأمين الموصلات ذات التبريد السريع من المجموعة 2 بمرتبة واحدة إلى أعلى أما موصلات الألومنيوم فيجب أن تؤمن بمرتبة واحدة إلى أسفل مع مراعاة التيارات الإسمية للأجهزة والحد الأصغر لمساحة المقطع وفقد الجهد وقدرة خط التغذية (انظر اللوحة ٥٨) .

*VDE = اتحاد الفنيين الـكهربائيين الألمان

المقاطع الإسمية والمصاهر للموصلات النحاسية للمجموعة 1 (مأخوذة من VDE 0100)

| I (A) | A (mm²) |
|---|---|
| 16 | 1,5 |
| 20 | 2,5 |
| 25 | 4 |
| 35 | 6 |
| 50 | 10 |
| 63 | 16 |
| 80 | 25 |

لدرجة حرارة الوسط المحيط حتى 25°C

تمرينات

## كمية الحرارة

٣٠ – ١ مسخِن يحتوي على 80 kg من الماء رفعت درجة حرارته بمقدار 72 K. أوجد زيادة كمية حرارة الماء بالجول.

٣٠ – ٢ بردت 200 l (لتر) من ماء الاستحمام من 45°C+ إلى 36°C+، احسب الفقد بوحدة kJ أثناء ذلك في الوسط المحيط.

٣٠ – ٣ يراد تسخين كميات المياه التالية من درجة الحرارة الابتدائية $\vartheta_1$ إلى درجة الحرارة النهائية $\vartheta_2$. ما هي كمية الحرارة اللازمة Q بالجول (J=Ws).

| الجهاز | $\vartheta_1$ (°C) | $\vartheta_2$ (°C) | m (kg ≙ l) |
|---|---|---|---|
| أ ) خزان ضغط | +15° | + 85° | 80 l |
| ب) مغطس (بانيو) | +10° | + 37° | 180 l |
| ج) استحمام بالدوش | +10° | + 40° | 45 l |
| د ) ماء غسيل | +12° | + 37° | 8 l |
| هـ) غسّالة كهربائية | + 8° | + 95° | 60 l |
| و ) ماء للقهوة | +18° | +100° | 1 l |

٣٠ – ٤ يحتاج الثلج إلى حرارة انصهار قدرها 330 Ws/g والماء إلى حرارة تبخير قدرها 2260 Ws/g. ما هي كمية الحرارة اللازمة لصهر 2 kg من الثلج ثم تسخينها إلى 100°C+ ثم تبخيرها؟

٣٠ – ٥ يراد تدفئة $60\ m^3$ من الهواء في غرفة معزولة حراريا تماما من 12°C− إلى 18°C+ (كثافة الهواء $\varrho = 1,29\ kg/m^3$ والسعة الحرارية النوعية للهواء (c = 1 Ws/gK) ما هي كمية الحرارة المطلوبة؟

٣٠ – ٦ سُخّنت 12 kg من الفولاذ (c=0,46 Ws/gK) من $\vartheta_1 = +18°C$ إلى $\vartheta_2 = +250°C$ بكم جول زادت كمية الحرارة للفولاذ؟

٣٠ – ٧ سُخّنت 120 kg من زيت المحولات من 18°C+ إلى 45°C+ (c=1,7 Ws/gK) ما هي كمية الحرارة المأخوذة بواسطة الزيت؟

٣٠ – ٨ كم كيلوجول تلزم لتسخين كاوية لحام من النحاس زنتها 80 g من 20°C+ إلى 320°C+ (c=0,39 Ws/gK).

٣٠ – ٩ مسخِن حمام جليسرين سعته $0,7\ m^3$ (c=2,4 Ws/gK) ($\varrho = 1,26\ kg/dm^3$، رفعت درجة حرارته من 12°C+ إلى 80°C+.
إحسب:
أ) وزن سائل الحمام ب) الزيادة في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$ ج) الزيادة في كمية الحرارة.

٣٠ – ١٠ ما هي كمية الحرارة بالجول التي تولّدها مقاومة تسخين 2000 W إذا وصلت لفترات التشغيل التالية:

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| الزمن t | 6 min | 30 min | 1 h | 2 h | 3 h |

٣٠ – ١١ كم تُكلِّف 1000 J (جول) إذا كان سعر الطاقة 0,12 SR/kWh ولم يؤخذ الفقد الحراري في الاعتبار؟

٣٠ – ١٢ تعطي منشأة تدفئة كهربائية في المتوسط 180 ميجاجول في اليوم على مدى عام.
أ) احسب كمية الحرارة المعطاة في شهر واحد. ب) احسب كمية الحرارة المعطاة في عام واحد. ج) كم كيلوواط ساعة تكون مطلوبة عندئذ يوميا؟ د) ما هي قيمة الحمل المتوسطة (بدون أخذ الفقد في الاعتبار) عند تشغيل يومي لمدة 10 ساعات؟

ملاحظة:

1 kJ= 1 كيلوجول $=10^3$ J
1 MJ= 1 ميجاجول $=10^6$ J
1 GJ=1 جيجاجول $=10^9$ J

٣٠ – ١٣ كم كيلوواط ساعة نحتاجها (بدون أخذ الفقد في الاعتبار) لرفع درجة حرارة وعاء سعته 10 l مملوء تماما بالماء من 14°C+ إلى 100°C+؟

## أجهزة التسخين ودرجة كفايتها.

الحرارة المستفادة = التغذية الحرارية × الكفاية $m \cdot \Delta\vartheta \cdot c = P \cdot t \cdot \eta$.

لا يمكن قياس كمية الحرارة Q مباشرة، بل يجب حسابها من كميات أخرى. ففي الصيغة الرياضية المذكورة أعلاه (انظر اللوحة ٣٠) عُوِّض بدلا من كمية الحرارة Q بكميات يمكن قياسها مباشرة. وتُحل المسائل الناتجة من التطبيقات العملية لهندسة الحرارة الكهربائية غالبا عن طريق تبديلات بسيطة في تلك الصيغة.

مثال: احسب زمن التسخين اللازم لرفع درجة حرارة 80 l من الماء من 15°C+ إلى 85°C+ بواسطة مسخن مياه قدرته 6 kW وكفايته 90% علمًا بأنّ نسبة الفقد 10%.

الحل:
$t = ?s;\quad m = 80\,000\ g;$
$p = 6000\ W;\quad c = 4,18\ Ws/g\,K;$
$\eta = 0,9;\quad \Delta\vartheta = 85°C - 15°C = 70\ K;$
$$t = \frac{m \cdot \Delta\vartheta \cdot c}{P \cdot \eta} = \frac{80\,000 \cdot 70 \cdot 4,18}{6000 \cdot 0,9}\ s = 4334,8\ s \approx 72\ min$$

ملاحظة: يمكن بواسطة المسطرة الحاسبة عمل ذلك التتابع العددي بدون تتبع خطوات العمل واستنباط النتيجة النهائية مباشرة.

٣٠ – ١٤ تسخِن غلّاية سريعة كفايتها 0,9 لترين من الماء في 6 min إلى درجة 90°C، احسب قيمة الحمل.

٣٠ – ١٥ يسخن مسخن تدفُّق مستمر كفايته =0,8 خمسة لترات من الماء في دقيقة واحدة من 12°C+ إلى 42°C+. احسب قيمة الحمل.

٣٠ – ١٦ احسب كفاية مسخن غاطس 2000 W/220 V يرفع درجة حرارة 8 l من الماء بمقدار 50°C في 15 min.

٣٠ – ١٧ استعمل مسخن ماء لتسخين 150 l من الماء من 15°C+ إلى 85°C+ بكفاية 90,5% في زمن قدره 8 h.
احسب:
أ) الحرارة المستفادة $Q_2$ ب) الحرارة المعطاة $Q_1$ ج) الفقد الحراري بالجول $Q_l = Q_1 - Q_2$ د) الشغل المبذول W بوحدة kWh هـ) قيمة الحمل P.

٣٠ – ١٨ عيّن السعة الحرارية النوعية لسائل ما سخن 2 kg منه في إناء معزول تماما ($\eta\approx1$) من +20°C إلى +60°C وقيس استهلاك الكهرباء على العداد فكان 94 Wh .

٣٠ – ١٩ اخذت قيم الحمل وأزمنة التسخين التالية من قائمة أسعار لمسخنات مياه سعة 120 l عند ($\Delta\vartheta$=70°C) فكانت :

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| القدرة P | 1500 W | 4500 W | 6000 W |
| الزمن t | 8 h | 2,5 h | 2 h |

احسب الكفاية من تلك المعطيات .

٣٠ – ٢٠ احسب الوقت اللازم لكي يسخن مسخن غاطس 2000 W ($\eta$=0,9) 18 l من زيت التزليق (c=1,7 Ws/gK, $\varrho$=0,9 kg/dm³) من +10°C إلى +40°C ؟

٣٠ – ٢١ يراد تسخين 30 kg من النحاس الأصفر CuZn 30 (c=0,39 Ws/g K) في فرن كهربائي في 45 min من +14°C إلى +560°C حتى التلدين . احسب قيمة الحمل للكفاية 68% .

٣٠ – ٢٢ إذا مر تيار قدره I=10 A في مقاومة توال R=12,5 Ω لمدة 6 h . احسب ما يلي :

أ ) كم kJ تعطيها المقاومة للحجرة في الساعة؟

ب) كم m³ يمكن تسخينها بواسطة هذه المقاومة إذا لزم 170 kJ لتسخين 1 m³/h .

٣٠ – ٢٣ ما حجم المكان (m³) الذي يمكن تسخينه بواسطة مصباح متوهج 100 W . إذا فرض أن 4% من قدرة المصباح تتحول إلي إشعاع ضوئي و 96% تستخدم للتسخين؟ (متطلبات التسخين 170 kJ لكل m³ لكل ساعة) .

٣٠ — ٢٤ يسخن مسخن في غسالة كهربائية سعتها 3 kg ذات أسطوانة دوارة 20 l من الماء في 40 min من +15°C إلى +95°C بفقد نسبته 20% . فإذا علم أن الجهد الإسمي 220 V احسب :

أ) قيمة الحمل للفيفة التسخين ب) التيار المسحوب للتسخين ج) قيمة مقاومة التسخين

٣٠ – ٢٥ احسب الزيادة في درجة الحرارة لخزان مياه سعته 100 l (مقاومة لفيفة التسخين 10 Ω والكفاية =0,9)

أ ) إذا كان زمن التسخين 40 min عند جهد قدره 220 V

ب) إذا كان زمن التسخين 40 min عند جهد قدره 231 V

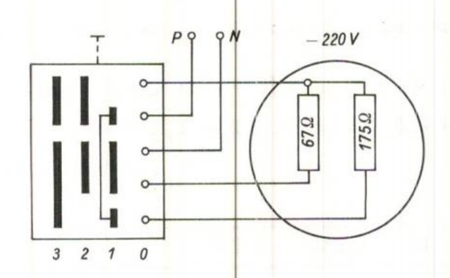
ج) ما هي النسبة المئوية لزيادة الجهد ولزيادة قدرة التسخين؟

٣٠ – ٢٦ ما هو الوزن المسموح به لكاوية لحام من النحاس قدرتها 300 W (c=0,39 Ws/gK) إذا أريد أن تسخن في 5 min من +20°C إلى +400°C مع وجود فقد حراري مقداره 25% .

ملاحظة : يمكن تقدير الكفاية للأجهزة غير المعزولة حراريا بطريقة تقريبية فقط .

## التحكم في الحرارة

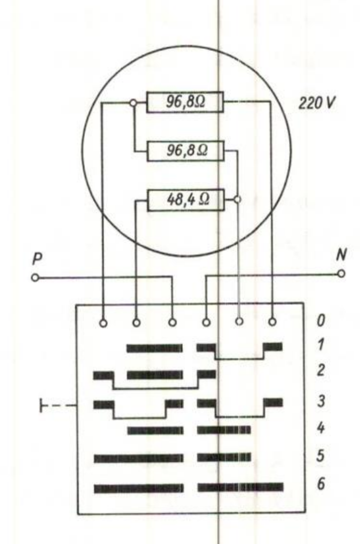
٣٠ – ٢٧ يتصل مسخن مسطح (طباخة) بدائرة ذات أربعة أوضاع للتشغيل . احسب لكل درجة من درجات التشغيل المختلفة قيمة المقاومة والتيار المسحوب والقدرة المستهلكة بالمسخن .




٣٠ – ٢٨ احسب لدائرة ذات أربعة أوضاع للتشغيل وموصلة على 220 V المقاومات المختلفة لمسطحي الطبخ أ) و ب) :

| | ١ | ٢ | ٣ |
|---|---|---|---|
| أ ) | 240 W | 866 W | 1200 W |
| ب) | 300 W | 1400 W | 1800 W |

٣٠ – ٢٩ يشغل موقد كهربائي بدائرة ذات 7 أوضاع تشغيل . احسب لمسطح الطبخ الموضح بالشكل كلاً من R و I و P لجميع أوضاع التوصيل .




٣٠ – ٣٠ احسب قيمة المقاومة لثلاث مقاومات مختلفة لدائرة ذات 7 أوضاع للتشغيل موصلة على 220 V عند درجات القدرة التالية :

١) 150 W ٢) 250 W ٣) 375 W

٤) 750 W ٥) 1125 W ٦) 1500 W

٣٠ – ٣١ يتوقف التمدد الحراري للأجهزة المعدنية على كل من الزيادة في درجة الحرارة $\Delta\vartheta$ والطول l ومعامل التمدد $\alpha$ للمادة (للحديد $\alpha$=0,000 012 m/mK وللألومنيوم $\alpha$=0,000 024 m/mK) . تفصل المنظمات الحرارية دوائر التيار عن طريق تمدد المعادن . احسب التمدد في الطول $\Delta l$ بالمليمتر وبالنسبة المئوية عند التسخين من +20°C إلى +220°C لقضيب معدني طوله 10 cm من المعادن التالية :

أ ) الحديد ب) الألومنيوم .

## الحرارة في الموصلات الكهربائية

٣٠ – ٣٢ يمر تيار شدته 940 A في قضيب توصيل من النحاس طوله l=4 m ومساحة مقطعه $A=500\ mm^2$ ما هي كمية الحرارة التي يعطيها للوسط المحيط به في الساعة؟

٣٠ – ٣٣ **حمّل موضع اتصال قضيب ذي مقاومة تلامس** 0,02 Ω بتيار 80 A.

أ ) كم جولا تتولد كل ساعة؟

ب) ما هو التأثير غير المرغوب فيه للحرارة المتولدة عند موضع الاتصال؟ وما هي النتائج المترتبة؟ وما هي المعلومات المستنتجة؟

٣٠ – ٣٤ وصلت لفيفة تسخين (قيمها 60 W/12 V) ببطارية 12 V (المقاومة الداخلية 0,2 Ω) بموصل مزدوج الأسلاك (2·0,2 Ω).

أ ) ما هو مقدار مقاومة اللفيفة؟

ب) ما هو مقدار التيار المار في توصيلة التوالي؟

جـ) ما هي القدرة التي تأخذها الأجزاء المختلفة؟

د ) ما هي كمية الحرارة الناتجة في الساعة في لفيفة التسخين وفي الموصل وفي البطارية؟

٣٠ – ٣٥ تضاعف تحميل التيار لموصل نحاسي، أي تغير بنسبة 1 إلى 2. ما هي النسبة العددية لتغير كل من :

أ ) كثافة التيار.

ب) فقد الجهد في الموصل.

جـ) القدرة المأخوذة بالموصل النحاسي.

د ) كمية الحرارة المتولدة في الساعة.

٣٠ – ٣٦ يتغير تحميل التيار لموصل كما بالجدول. بيّن كيفية تغير القدرة المفقودة والحرارة المتولدة في الساعة؟

| | شدة التيار | قدرة الفقد | الحرارة المتولدة |
|---|---|---|---|
| أ ) | I·3 | P·9 | Q/t·9 |
| ب) | I·4 | ? | ? |
| جـ) | I·1,2 | ? | ? |
| د ) | I·10 | ? | ? |
| هـ ) | I÷2 | ? | ? |
| و ) | I÷5 | ? | ? |

ز ) اذكر الصيغ الرياضية الواجب استعمالها.

٣٠ – ٣٧ تعتمد درجة الحرارة النهائية التي يصل إليها سلك موصل عند التشغيل المستمر على معدلي التسخين أو التبريد. فإذا أريد مضاعفة طول خط التغذية لحمل ما مع ثبات تحميل التيار :

أ ) بيّن كيفية تغير كل من : مقاومة الموصل وفقد الجهد والحرارة الناتجة؟

ب) بيّن كيفية تغير كل من: مساحة سطح التبريد بالسلك ومقدار التبريد؟

جـ) ما هو تأثير كل من الفقرتين (أ) و (ب) معا على درجة الحرارة النهائية لسلك الموصل؟

د ) بيّن كيفية تغير كثافة التيار S؟

٣٠ – ٣٨ احسب مساحة سطح التبريد لموصّل نحاسي مستدير المقطع طوله 10 m إذا كانت مساحة المقطع :

أ ) $1,5\ mm^2$ ب) $6\ mm^2$ جـ) قارن بين سطوح التبريد ومساحات المقطع.

٣٠ – ٣٩ احسب القيم الناقصة بالجدول لموصّلين نحاسيين مستديري المقطع (طول كل منهما 56 m وموصلان بجهد قدره 6 V) :

| | مساحة المقطع | $1\ mm^2$ | $4\ mm^2$ |
|---|---|---|---|
| أ ) | قيمة المقاومة R | ? | ? |
| ب) | شدة التيار I | ? | ? |
| جـ) | القدرة المعطاة P | ? | ? |
| د ) | (جول في الساعة) Q/t | ? | ? |
| هـ ) | قطر السلك d | ? | ? |
| و ) | سطح التبريد $A_s$ | ? | ? |
| ز ) | كثافة التيار S | ? | ? |

اشرح العلاقة التي تربط كلا من مساحة مقطع الموصل ومساحة سطح التبريد والحرارة الناتجة في الحالات المختلفة.

ملاحظة : تقل كثافة التيار المسموح بها بزيادة مساحة مقطع الموصل، إذ إن مساحة سطح التبريد $(\sim\pi\cdot d)$ لا تزيد بنفس نسبة الزيادة في مساحة مقطع الموصل $\left(\frac{\pi\cdot d^2}{4}\right)$.

كما تتوقف كثافة التيار المسموح بها أيضا على نوع وشدة العزل بالموصل الى جانب ظروف التركيب والتهوية باللفيفة.

مثال : يراد توصيل لفيفة التسخين لسخان ماء استحمام قدرته 4 kW عن طريق موصل مزدوج الأسلاك من نمط 2·12 m NYA (نحاس من المجموعة 1) في أنبوبة عزل بجهد قدره 220 V. اختر المصهر ومساحة مقطع الموصل طبقا لتعليمات VDE 0100 (استخرج البيانات من الجدول) واختبر نسبة الفقد في الجهد إذا كان الفقد المسموح به هو 1,5% من 220 V.

الحل :
$I=P\div U=4\,000\ W\div 220\ V=18{,}2\ A;\ \underline{I_N=20\ A}$

$(A=2{,}5\ mm^2)\quad \Delta U=\frac{2\cdot I\cdot l}{\varkappa\cdot A}=\frac{2\cdot 20\cdot 12}{56\cdot 2{,}5}\ V=3{,}41\ V$

$\underline{A=4\ mm^2}\quad \Delta U=\frac{2\cdot I\cdot l}{\varkappa\cdot A}=\frac{2\cdot 20\cdot 12}{56\cdot 4}\ V=2{,}14\ V$

٣٠ – ٤٠ اختر المصهر ومقطع الموصل (نحاس من المجموعة 1) مع فقد جهد قدره $\Delta U<1{,}5\%$ لما يلي :

| | أ | ب | جـ |
|---|---|---|---|
| قيمة الحمل | 2 kW | 3,5 kW | 8 kV |
| الجهد الإسمي | 220 V | 220 V | 220 V |
| طول الموصل | 2·12 m | 2·20 m | 2·6 m |

٣٠ – ٤١ مسخن تدفق مستمر ذو ثلاث فتائل تسخين متصلة على التوازي طول كل منها 14,9 m (من معدن مقاومة RW 110 قطره 1,2 mm) يراد توصيله على 220 V لتسخين خمسة لترات من الماء كل دقيقة إلى 40°C ودرجة حرارة الماء عند الدخول 14°C. فإذا وصّل الجهاز كحمل مفرد بموصل مزدوج الأسلاك 2·8 m NYA (نحاس من المجموعة 1)

احسب :

أ ) قيمة المقاومة $(R_t)$ لجهاز التسخين.

ب) قيمة الحمل المستهلك $(P_i)$ بجهاز التسخين.

جـ) الكفاية $(\eta)$ لجهاز التسخين.

د ) قدرة الفقد $(P_l)$ لجهاز التسخين.

هـ ) كثافة التيار (S) لسلك التسخين.

و ) التيار الإسمي $(I_N)$ للمصهر.

ز ) مساحة المقطع القياسية $(A_{Cu})$ لخط التغذية.

ح ) الجهد المفقود (ΔU) في خط التغذية.

ط ) القدرة المفقودة (ΔP) في خط التغذية.

## التحليل بالكهرباء

| $a^*$ لمعدن : | g/Ah | mg/As |
|---|---|---|
| الكروم | 0,65 | 0,180 |
| النيكل | 1,09 | 0,304 |
| النحاس | 1,18 | 0,329 |
| الفضة | 4,02 | 1,118 |

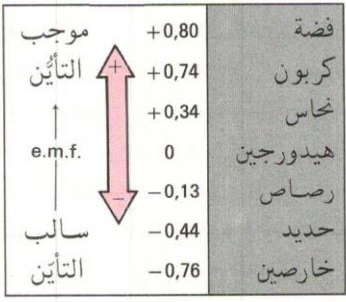
$a^*$ = المكافئ الكيميائي الكهربائي

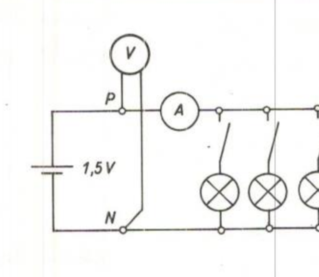
في المحاليل المائية تسري المعادن وغاز الهيدروجين في اتجاه التيار الكهربائي بينما تسري باقي المواد في اتجاه مضاد. وتزداد الكمية المترسّبة عند القطب مع زيادة التيار I والزمن t والمكافئ الكيميائي الكهربائي للمادة (انظر الجدول).

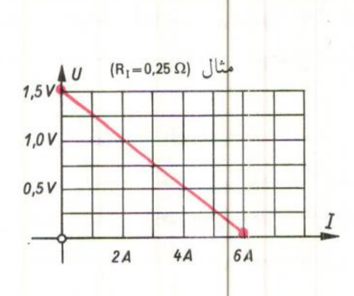
| | | |
|---|---|---|
| $m = I \cdot t \cdot a$ | الوحدات h, A, g | أو s, A, mg |

## القوة الدافعة الكهربائية ق.د.ك. (e.m.f.) وجهد الأطراف

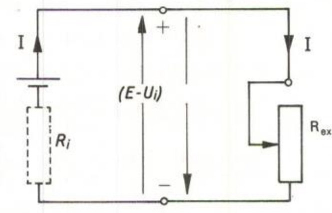
| | | |
|---|---|---|
| فضة | +0,80 | موجب |
| كربون | +0,74 | التأيُن |
| نحاس | +0,34 | |
| هيدروجين | 0 | e.m.f. |
| رصاص | −0,13 | |
| حديد | −0,44 | سالب |
| خارصين | −0,76 | التأيُن |




تكوّن أي مادتين موصلتين يصل بينهما سائل منبعا للجهد، وفي داخل هذا المنبع يدفع جهد المنبع أو ق.د.ك. (القوة الدافعة الكهربائية E) التيار من القطب السالب (N) إلى القطب الموجب (P). ويدفع جهد الأطراف U التيار المار بالحمل في الخارج من P إلى N. وعندما تكون المفاتيح مفصولة يقاس الجهد كجهد اللاحمل (دائرة مفتوحة) $U_o = E$. ويقل U عند توصيل الدائرة وعند مرور تيار قصر الدائرة $I_{sh}$ يكون $U = 0$ (انظر المنحنى البياني). والسبب في ذلك هو فقد الجهد $U_i = I \cdot R_i$ في داخل المنبع.




| | | |
|---|---|---|
| جهد الأطراف | $U_{term} = U_o - U_i$ | $U_{term} = U_o - I \cdot R_i$ |
| المقاومة الداخلية | $R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{U_o}{I_{sh}}$ | $R_i = \frac{U_o - U_{term}}{I}$ |
| تيار التحميل | $I = \frac{U_{term}}{R_{ex}} = \frac{U_i}{R_i}$ | $I = \frac{U_o}{R_i + R_{ex}}$ |

## دوائر توصيل البطاريات

(١) يسمّى ضم مجموعة خلايا منفصلة في منبع واحد للجهد بالبطارية.

(٢) وتتحدّد ق.د.ك. (e.m.f.) و $R_i$ و $U_{term}$ لبطارية ما حسب توصيل الدائرة (انظر اللوحات ٢١ و٢٢ و٢٣).

(٣) المنابع ذات الجهود المتساوية فقط هي التي يمكن توصيلها على التوازي وإلا تولد تيار تعادل خلال $R_i$.

(٤) تؤثر المقاومة الداخلية (النوع وحالة الشحن ودرجة الحرارة) على توزيع التيار.

E1 1,5 V, R1 1Ω — E2 1,5 V, R2 2Ω — $R_{ex}$ 4⅓Ω

$U_i = I \cdot R_i = 0,3 \cdot 2/3 = 0,2\ V$

$I_1 = U_i \div R_1 = 0,2 \div 1 = 0,2\ A$

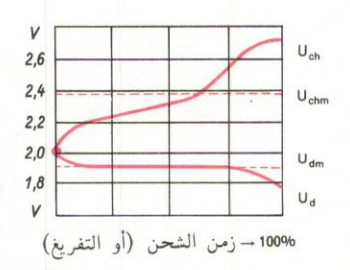
$I_2 = U_i \div R_2 = 0,2 \div 2 = 0,1\ A$

$R_i = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 2}{1+2} = \frac{2}{3}\ \Omega$

$I = E \div (R_i + R_{ex}) = 0,3\ A$

## حساب المراكم (مثال)

جهد خلايا المراكم الرصاصية




إذا أريد تغذية شبكة بجهد قدره 120 V وبتيار شدته 60 A من مركم رصاصي (لبيانات U انظر المنحنى الخصائصي)، لمدة 9 ساعات يوميا، وطبقا لمعطيات المصنع يكون زمن شحن المركم أكثر من 5 ساعات وكفاية الأمبير ساعة أكبر من 0,9. احسب :

| | | |
|---|---|---|
| عدد الخلايا | $n = U_2 \div U_E = 120 \div 1,8$ | = 67 (خلية) |
| الجهد الأقصى للشحن | $U_1 = n \cdot U_{ch} = 67 \cdot 2,7$ | = 181 V |
| السعة | $K_2 = I_2 \cdot t_2 = 60 \cdot 9$ | = 540 Ah |
| الطاقة المأخوذة في الشحن | $K_1 = K_2 \div \eta_{Ah} = 540 \div 0,9$ | = 600 Ah |
| تيار الشحن المتوسط | $I_1 = K_1 \div t_1 = 600 \div 5$ | = 120 A |
| الكفاية | $\eta_{Wh} = \eta_{Ah} \cdot U_{dm} \div U_{chm} \approx 0,9 \cdot 1,9 \div 2,4 = 0,71$ | |

مثال : كم mg من الفضة تنفصل من محلول نترات الفضة عندما يمرر به تيار $I=15\ A$ في زمن قدره $t=20\ min$ .

الحل :

$I=15\ A;\ t=1200\ s;\ a=1,118\ mg/As$

$m=I\cdot t\cdot a=15\cdot 1200\cdot 1,118\ mg=\underline{20124\ mg}$

٣١ – ١ احسب الزمن اللازم لكي ينفصل 2 kg من النحاس عند مرور تيار $I=200\ A$ في محلول كبريتات النحاس؟

٣١ – ٢ يلزم تغطية لوح من الرصاص مساحة سطحه الكلية $30\ dm^2$ بطبقة من الكروم سُمكها 0,02 mm بالترسيب الكهربائي . احسب :

أ ) قيمة التيار I (A) إذا أريد تغطيته بالكروم باستخدام كثافة تيار متوسطة $5\ A/dm^2$

ب) وزن طبقة الكروم ($\varrho=7,1\ g/cm^3$)

ج) زمن التشغيل بالدقائق إذا كان $a=0,18\ mg/As$

سُمك 1
10
5
20

٣١ – ٣ إذا لزم تغطية 800 قطعة معدنية مشكلة بالكبس (انظر الأبعاد بالرسم) بطبقة نيكل سُمكها 10 µm ($\varrho=8,85\ g/cm^3$) . وكانت كثافة التيار السطحية $3\ A/dm^2$ وحدث فقد في التيار قدره 20% (لتحلل الماء والتسخين) . احسب :

أ ) شدة التيار اللازمة

ب) الوزن الكلي لطبقات النيكل بالجرام

ج) زمن التشغيل بالساعات والدقائق

٣١ – ٤ ما مقدار جهد الدائرة المفتوحة عند التوصيل الإلكتروليتي للموصلات التالية :

| | القطب الموجب | القطب السالب | $U_o(V)$ |
|---|---|---|---|
| أ ) | فضة | نحاس | ؟ |
| ب) | نحاس | رصاص | ؟ |
| ج) | نحاس | حديد | ؟ |
| د ) | رصاص | حديد | ؟ |
| هـ) | نحاس | زنك | ؟ |
| و ) | كربون | نحاس | ؟ |

٣١ – ٥ احسب تيار قصر الدائرة في حالة :

| منبع الجهد | $R_i\ (\Omega)$ | $U_o\ (V)$ |
|---|---|---|
| أ ) خلية جافة | 0,3 Ω | 1,5 V |
| ب) خلية جافة | 0,1 Ω | 1,5 V |
| ج) خلية مركم فولاذي | 20 mΩ | 1,2 V |
| د ) خلية مركم رصاصي | 1 mΩ | 2,0 V |
| هـ) 10 خلايا (كما في ب) على التوالي | | |
| و ) 60 خلية (كما في د) على التوالي | | |

٣١ – ٦ أوجد من المنحنى الخصائصي بين I و U في اللوحة (٣١) جهد الأطراف عند التحميل التالي :

أ ) دائرة مفتوحة ب) تيار قدره 1 A ج) تيار قدره 2 A

د ) تيار قدره 2,5 A هـ) تيار قدره 6 A .

٣١ – ٧ ارسم المنحنى الخصائصي بين I و U لما يلي : ($1\ cm \mathrel{\hat{=}} 1\ A/0,2\ V$)

أ ) خلية جافة 1,5 V/0,1 Ω ب) بطارية من خليتين على التوالي .

ج) بطارية من خليتين على التوازي .

٣١ – ٨ احسب $R_i$ لبطارية جافة يهبط جهد السكون فيها وهو 24 V عند التحميل بتيار $I=0,25\ A$ إلى $U=20\ V$ لتوصيلات البطاريات انظر أيضا اللوحات (٢٦) و (٢٧) و (٢٨) .

٣١ – ٩ احسب التوصيلات التالية لمركم رصاصي مكون من 24 خلية رصاصية ، القيم الإسمية لكل منها هي :

$E=2\ V;\ R_i=0,02\ \Omega;\ I_N=9\ A$ ($I_N=$ التيار المسموح به للخلية الواحدة):

| التوصيل | $U_o(V)$ | $R_i(\Omega)$ | $I_N(A)$ | $U_{term}$ عند $I_N$ |
|---|---|---|---|---|
| أ ) 24 خلية موصلة كلها على التوالي | ? | ? | ? | ? |
| ب) 12 خلية توال 2 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| ج) 8 خلايا توال 3 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| د ) 6 خلايا توال 4 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| هـ) 4 خلايا توال 6 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| و ) 3 خلايا توال 8 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| ز ) 2 خلية توال 12 على التوازي | ? | ? | ? | ? |
| ح) 24 خلية موصلة كلها على التوازي | ? | ? | ? | ? |

٣١ – ١٠ عرّف القدرة التي يمكن أن تعطيها بطارية .

أ ) أكمل الجدول التالي لبطارية ذات ست خلايا مقاومتها الكلية $R=1,5\ \Omega$ وجهدها الكلي $U_o=9\ V$ .

| $R_i\ (\Omega)$ | $R_{ex}\ (\Omega)$ | I (A) | $U_i$ (V) | $U_{term}$ (V) | $P_o$ (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,5 | ∞ | 0 | 0 | 9 | 0 |
| 1,5 | 7,5 | 1 | 1,5 | 7,5 | 7,5 |
| 1,5 | 3,0 | ? | ? | ? | ? |
| 1,5 | 1,5 | ? | ? | ? | ? |
| 1,5 | 0,75 | ? | ? | ? | ? |
| 1,5 | 0,3 | 5 | 7,5 | 1,5 | 7,5 |
| 1,5 | 0 | 6 | 9 | 0 | 0 |

ب) قارن بين $R_i$ و $R_{ex}$ عند أقصى قدرة معطاة.

ج) اوجد للفقرة ب) النسبة المئوية للفقد في الجهد والقدرة .

٣١ – ١١ تعمل بطارية ($R_i=0,85\ \Omega$) وبطارية ثانية ($R_i=0,55$) على التوازي ولهما ق.د.ك متساوية ويعطيان للشبكة معا 12 A . احسب التيارين الفرعيين $I_1$ و $I_2$ المحملين على البطاريتين .

٣١ – ١٢ يغذي مركم رصاصي (سعته 27 Ah) ليلا ونهارا مرحّل دائرة مقفولة بشدة تيار متوسطة 45 mA. بعد كم ساعة يجب أن يشحن المركم؟

٣١ – ١٣ يستعمل مركم 220 V/90 Ah. لتشغيل مجموعة إضاءة طوارئ مكونة من 33 مصباحا متوهجا 220 V/40 W. بعد كم ساعة إضاءة للمصابيح تستنفد شحنة المركم؟

٣١ – ١٤ لمركبة كهربائية القيم المتوسطة التالية :

القدرة = 1,5 kW والجهد = 40 V والكفاية = 80% وسرعتها 12,5 km/h احسب :

أ ) عدد خلايا المركم الرصاصي ($U_1\approx 2\ V$)

ب) سعة البطارية اللازمة للسير لمسافة جر 50 km.

ج) وزن البطارية إذا لزم لكل kWh وزن قدره 40 kg .

٣١ – ١٥ احسب كما في مثال اللوحة (٣١) أهم القيم لمركم رصاصي ثابت الموقع مغذى من شبكة تعمل على 220 V بتيار 50 A لمدة 8 h يوميا (زمن الشحن أكثر من 6 h وكفاية الأمبير ساعة $\eta_{Ah}>0,9$) . كم خلية يجب جعلها قابلة للتحميل والفصل لإمكانية استمرار التشغيل شحنا وتفريغا في نفس الوقت؟

## كميات القياس المغنطيسية

يزداد المجال المغنطيسي بزيادة الإثارة الـكهربائية (أمبيرلفات) I·N وزيادة المواصلة لمسار خطوط المجال.

حديد

A ( mm²)

الطول المتوسط (mm)

$\Theta = I \cdot N$

Φ

| المجال المغنطيسي : | الإثارة : | التوصيل المغنطيسي : |
|---|---|---|
| التدفق المغنطيسي Φ | الوصلية Θ Linkage | المواصلة المغنطيسية Λ |
| (تنطق : فاي Phi) المجال المغنطيسي الـكلي ميكروڤولط ثانية = µVs | (تنطق : ثيتا) التيار المغنطيسي المؤثر أمبير = A | (تنطق : لامدا Lambda) حصيلة المغنطيس / أمبير µH (Henry) = µVs/A $\frac{\text{ميكروڤولط ثانية}}{\text{أمبير}}$ = ميكروهنري |
| كثافة التدفق B | شدة المجال H | الإنفاذية µ (تنطق ميو) |
| التدفق خلال وحدة المساحة T (Tesla تسلا) = µVs/mm² | الإثارة لوحدة المسافة أمبير لكل مم = A/mm | الموصلية (ميو) $\mu_r$ معامل المادة $\mu_0 = 1/800\ \mu H/mm$ |

$\Lambda = \frac{\Phi}{\Theta}$

قارن ذلك مع : $G = I \div U$

$\mu = \frac{B}{H}$

انظر المنحنى الخصائصي بين كثافة التدفق B وشدة المجال H.

$\Phi = B \cdot A$ | $\Theta = H \cdot l$ | $\Lambda = \frac{\mu \cdot A}{l}$

عند كثافة منتظمة ومساحة A عمودية على المجال.

تستخدم فقط عندما يكون كل من الوسط الموصل (حديد أو هواء) والمقطع ثابتين وإلا فيطبق التوصيل على التوالي، كما في اللوحة (٣٣).

1 ويبر Weber = 1 ڤولط ثانية (Vs). يولد التغير في المجال 1 Vs في الثانية في كل لفة من لفات ملف للقياس نبضة جهد قدرها 1 V.

## كثافة التدفق وتأثير القوة

يمكن قياس كثافة التدفق B بواسطة جهاز قياس المجال.

**قوة التحميل (الجذب) :**

$F = B^2 \cdot A_{eff} \cdot 0{,}4$

الوحدات : $N, T, mm^2$

$A_{eff}$ = المساحة الفعالة للأقطاب (هنا سطحان)

**قوة الشد :**

تستعمل نفس الصيغة الرياضية السابقة إلا أنه بسبب الثغرة الهوائية تكون قيم كل من B و F أقل كثيرا. (انظر اللوحة ٣٣).

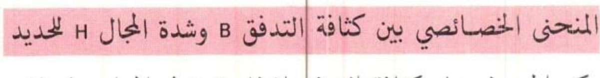
**قوة الدوران :**

$F = B \cdot I \cdot l_{eff}$

الوحدات : N, T, A, m

$l_{eff}$ = الطول الفعال للموصل (جميع أطوال الموصل تحت سطوح الأقطاب)

B B F B B F N S F F

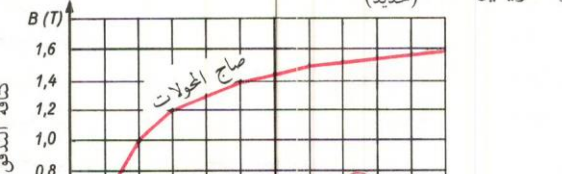


## المنحنى الخصائصي بين كثافة التدفق B وشدة المجال H للحديد

يمكن الحصول على كثافة التدفق المطلوبة B في الهواء بواسطة الإثارة التالية لكل mm من طول المسار في الهواء :

$$H_{air} = \frac{B}{\mu_0} \triangleq \frac{B}{1/800} = B \cdot 800 \ \left(\frac{A}{mm}, \ T \cdot \frac{\mu H}{mm}\right)$$

تتأثر الإنفاذية المغنطيسية $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ للحديد بكثافة التدفق B (التشبع)، وتستبدل µ من خلال المنحنى الخصائصي بين B و H ويعين منه $H_{(\text{للحديد})}$ :

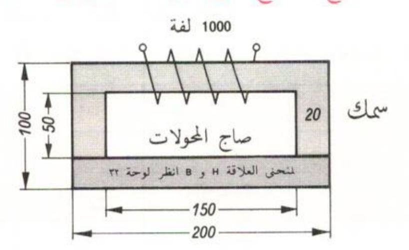



مثال : يلزم لـكثافة تدفق قدرها 0,6 T في صاج المحولات (المنحنى الخصائصي رقم ①) إثارة قدرها 0,2 A/mm وفي حديد الزهر (المنحنى الخصائصي رقم ②) : 0,2 A/mm، وفي الهواء :

$H = 0{,}6\ \mu Vs/mm^2 \cdot 800\ Amm/\mu Vs = 480\ A/mm$

## تمرينات

مثال: لنعتبر أن كثافة المجال المغنطيسي في قلب حديدي مقفل مستطيل الشكل متساوية تقريبا في كل جزء (إذا أهملنا الأركان والكثافة العالية لخطوط المجال الأقصر) يمر المسار المتوسط لخطوط المجال بالتقريب في وسط القلب الحديدي. وتنطبق هنا جميع الصيغ الرياضية المغنطيسية السابق ذكرها.




احسب بواسطة تيار إثارة قدره $I = 100$ mA :

أ) وصلية التدفق $\Theta$ (A)

ب) الطول المتوسط للقلب الحديدي $l$ (mm)

ج) شدة المجال $H$ (A/mm)

د) كثافة التدفق $B$ (T)

هـ) الإنفاذية $\mu$ (μH/mm)

و) المساحة المستعرضة لمجال المغنطيس $A$ (mm²)

ز) التدفق المغنطيسي $\Phi$ (μVs)

ح) المواصلة المغنطيسية $\Lambda$ (μH)

الحل:

أ) $\Theta = I \cdot N = 0{,}1 A \cdot 1000 = 100$ A

ب) يمكن إيجاد الطول $l$ من الصيغة الرياضية: (الطول الخارجي+الطول الداخلي) ÷ 2

$l = (200+100+150+50)$ mm $\cdot 2 \div 2 = 500$ mm

ج) $H = \Theta \div l = 100$ A $\div 500$ mm $= 0{,}2$ A/mm

د) $B$ (للقيمة $H$ من المنحنى الخصائصي رقم 1 باللوحة ٣٢) $= 0{,}6$ T

هـ) $\mu = B \div H = 0{,}6$ T $\div 0{,}2$ A/mm $= 3$ μH/mm

$\mu_r = \mu \div \mu_o = 3 \div 1/800 = 2400;$

و) $A = (100-50)$ mm $\div 2 \cdot 20$ mm $= 500$ mm²

ز) $\Phi = B \cdot A = 0{,}6$ T $\cdot 500$ mm² $= 300$ μVs

ح) $\Lambda = \Phi / \Theta = 300$ μVs $\div 100$ A $= 3$ μH أو $\Lambda = \frac{\mu \cdot A}{l} = \frac{3 \cdot 500}{500}$ μH $= 3$ μH

مقدمة عن هندسة التيار المتردد: محاثة الملف (L): هنري $L = N^2 \cdot \Lambda = 3$

المفاعلة عند 50 Hz: $X_L = \omega \cdot L = 942\ \Omega$

٣٢ – ١ احسب للمغنطيس المذكور فيما سبق قوة التحميل (الجذب) عند سطحي القطبين بالقيم التالية لشدة التيار:

| | شدة التيار I (mA) | شدة المجال H (A/mm) | كثافة التدفق B (T) | القوة F (N) |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 100 mA | 0,2 A/mm | | 144 N |
| ب) | 200 mA | ? | | ? |
| ج) | 400 mA | ? | | ? |

ارشادات: $F = B^2 \cdot A_{eff} \cdot 0{,}4$ تستنتج كثافة التدفق B من المنحنى الخصائصي رقم ① عند $H = I \cdot N / l$

٣٢ – ٢ إذا أثير ملف حلقي مقفل بدون قلب حديدي، القطر المتوسط لحلقته $d_m = 10$ cm وعدد اللفات 250 لفة وقطر كل منها $d_1 = 2$ cm بواسطة تيار $I = 1{,}25$ A. احسب جميع القيم من (أ) إلى (ح) كما في المثال أعلاه.

٣٢ – ٣ احسب القيم الناقصة:

| | التدفق المغنطيسي Φ (μVs) | المساحة المستعرضة للمجال A (mm²) | كثافة التدفق B (T) |
|---|---|---|---|
| أ) | 7 200 μVs | 5 930 mm² | ? |
| ب) | 6 000 μVs | ? | 0,22 T |
| ج) | ? | 11300 mm² | 0,53 T |
| د) | 0,92 μVs | 60 mm² | ? |
| هـ) | ? | d = 150 mm | 1,0 T |
| و) | 1600 μVs | 38 mm · ? mm | 1,5 T |

٣٢ – ٤ ما مقدار الوصلية للملفات المغنطيسية التالية:

أ) 120 Ω و 4 500 لفة وموصل على 110 V.

ب) 30 Ω و 750 لفة وموصل على 220 V.

ج) 66 Ω و 2450 لفة وموصل على 24 V.

٣٢ – ٥ احسب للمجالات المغنطيسية ذات الموصلات وكثافة المجال الثابتة ما يلي:

| | الوصلية Θ (A) | مسار خطوط المجال l (mm) | شدة المجال H (A/mm) |
|---|---|---|---|
| أ) | 1200 A | 500 mm | ? |
| ب) | ? | 300 mm | 0,6 A/mm |
| ج) | ? | 420 mm | 80 A/mm |
| د) | 450 A | ? | 0,5 A/mm |
| هـ) | ? | 640 mm | 2,2 A/mm |

٣٢ – ٦ اوجد القيم الناقصة من المنحنى الخصائصي بين B و H باللوحة (٣٢):

| | بيانات المادة (من المنحنى الخصائصي) | كثافة التدفق B (T) | شدة المجال H (A/mm) |
|---|---|---|---|
| أ) | صاج المحولات | 0,8 T | ? |
| ب) | صاج المحولات | ? | 1,4 A/mm |
| ج) | الهواء | 0,1 T | ? |
| د) | الهواء | ? | 6,4 A/mm |
| هـ) | حديد الزهر الرمادي | ? | 1,2 A/mm |
| و) | حديد الزهر الرمادي | 0,2 T | ? |

٣٢ – ٧ مغنطيس خاص بجهاز وقاية يعمل بالتيار المستمر له ثلاثة سطوح مؤثرة للأقطاب في وضع الفصل:

10 mm·20 mm, 20 mm·20 mm, 10 mm·20 mm

اوجد القيمة اللازمة لكثافة التدفق في الثغرة الهوائية إذا لزم شد المغنطيس:

أ) بقوة شد قدرها 5 N ب) بقوة شد قدرها 20 N.

٣٢ – ٨ كثافة التدفق بين حذاء القطب وعضو الإنتاج في محرك يعمل بالتيار المستمر هي 0,6 T.

أ) ما هي قوة الإدارة التي تؤثر على موصل عضو الإنتاج (الطول داخل مجال القطب = 18 cm) عندما يمر فيه تيار قدره 25 A؟

ب) احسب قوة الإدارة لأربعة أقطاب لكل منها 45 موصلا.

٣٢ – ٩ يشد الملف المتحرك الحامل للتيار لمجموعة قياس (80 لفة طول كل منها 2·22,5 mm في ثغرة هوائية 0,3 T) النابض المؤثر بقوة محيطية 0,013 N. احسب شدة التيار (I).

## التوصيل المغنطيسي على التوالي

تجرى حسابات الدوائر المغنطيسية ذات المواد والمقاطع المختلفة كأنها توصيل مغنطيسي على التوالي. ويكون التدفق $\Phi = B \cdot A$ متساويا في جميع الأجزاء. وتحسب كل وصلية $\Theta = H \cdot l$ منفردة ثم تجمع كلها معا.

يقسم المسار إلى أطوال جزئية كل منها ذي مقطع منتظم ويلزم لذلك :

أ ) مساحة المقطع والمنحنى الخصائصي بين B و H والطول المتوسط للمسار لكل طول جزئي.

ب) كثافة التدفق المغنطيسي المطلوبة B عند موضع ما.

| كميات القياس | $\Phi$ | A | B | H | l | $\Theta$ | I·N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الحساب | $\Phi = B \cdot A$ | معلوم | $B = \Phi \div A$ | المنحنى الخصائصي | معلوم | $\Theta = H \cdot l$ | $\Theta_t = \Theta_1 + \Theta_2 \ldots$ |
| الثغرة الهوائية | ↓ | $A_1$ | $B_1$ | ← | $l_1$ | ← | ؟ |
| قلب المغنطيس | ↓ | $A_2$ | ← | ← | $l_2$ | ← | ؟ |
| الحافظة | ↓ | $A_3$ | ← | ← | $l_3$ | ← | ؟ |

يبين الجدول خطوات الحساب. ويمكن إيجاد الطول المتوسط للمسار l بواسطة رسم تخطيطي. اختر مقطع الهواء بحيث يكون أكبر من سطح القطب. أما للقلوب ذات الرقائق فيستخدم مقطع الحديد فقط. يهمل هنا تسرب التدفق (التشتت) الموازي للحافظة.

مثال : اوجد الوصلية اللازمة للدائرة المغنطيسية المبينة بالشكل لكثافة تدفق قدرها 0,72 T في الثغرة الهوائية.
يتبع القلب المكون من صاج المحولات المنحنى الخصائصي في اللوحة (٣٢). (معامل الحيز 1 أي 100% حديد)
تتبع الحافظة المصنوعة من حديد الزهر الرمادي المنحنى الخصائصي في اللوحة (٣٢).
مساحة مقطع الثغرة الهوائية ≈ 10 cm² (عندما تكون مساحة الأقطاب 9 cm²).

الحل : المسار في الهواء : 2·3 mm = 6 mm
المسار في القلب : $(l_{ex} + l_{in}) \div 2 = 200$ mm
المسار في الحافظة : 90 mm = البعد بين الأقطاب + (10+10)mm

| المسافات الجزئية | $\Phi$ (µVs) | A (mm²) | B (T) | H $\left(\frac{A}{mm}\right)$ | l (mm) | $\Theta$ (A) | $\Theta_t$(A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الثغرة الهوائية | 720 | 1000 | 0,72 | 576 | 6 | 3456 | ≈3700 |
| القلب المغنطيسي | 720 | 900 | 0,80 | 0,3 | 200 | 60 | |
| الحافظة | 720 | 1200 | 0,60 | 2,0 | 90 | 180 | |

$$A_{coil} = \frac{\Theta}{S \cdot f_{Cu}}$$

$A_{coil}$ = مساحة مقطع اللفيفة (mm²)
S = كثافة التيار (A/mm²)
$f_{Cu}$ = معامل الحيز للنحاس

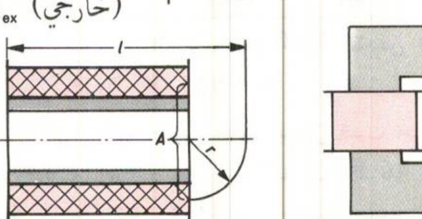
$$A_1 = \frac{\Theta \cdot l_m}{U \cdot \varkappa}$$

$A_1$ = مساحة مقطع السلك (mm²)
U = الجهد المستمر (V)
$l_m$ = الطول المتوسط للفة (m)

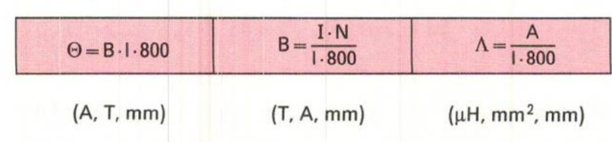
## الحسابات المبسطة للمغنطيس

(١) يبين المثال السابق أنه للمغنطيسيات الكهربائية ذات القلوب الحديدية غير المتشبعة وبها أكثر من 2% من المسار في الهواء يسمح بإهمال المسار في الحديد، ويحسب المجال في الثغرة الهوائية فقط.

(٢) يهمل المجال الخارجي للمغنطيسات ذات القلوب الهوائية التي يكون طولها أكبر من قطرها، ويحسب فقط المجال الداخلي ذو الكثافة الأكبر بطول قدره ≈ l الطول الداخلي + نصف قطر اللفة (بسبب الانتقال عند القطب).
تحقق من أنه عندما تكون المساحة الخارجية $A = 1\ m^2$ والمساحة الداخلية $A = 10\ m^2$ تكون النسبة بينهما $\frac{B_{in}\ (\text{داخلي})}{B_{ex}\ (\text{خارجي})} = \frac{1000}{1}$.




(٣) يجرى الحساب في كلتا الحالتين في الهواء باستعمال الصيغة $\mu_o = 1/800\ \mu H/mm$ وباستعمال أبعاد المسارات الرئيسية :

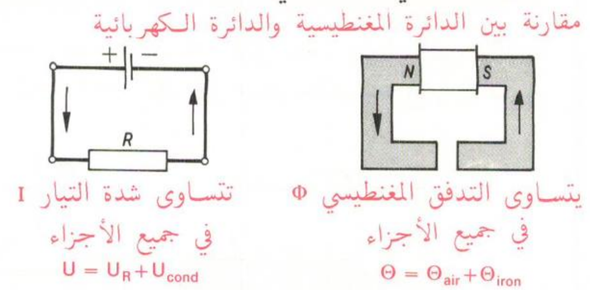


| $\Lambda = \frac{A}{l \cdot 800}$ | $B = \frac{I \cdot N}{l \cdot 800}$ | $\Theta = B \cdot l \cdot 800$ |
|---|---|---|
| (µH, mm², mm) | (T, A, mm) | (A, T, mm) |

## تمرينات

### التوصيل المغنطيسي على التوالي

مقارنة بين الدائرة المغنطيسية والدائرة الكهربائية




يتساوى التدفق المغنطيسي Φ في جميع الأجزاء

$\Theta = \Theta_{air} + \Theta_{iron}$

تتساوى شدة التيار I في جميع الأجزاء

$U = U_R + U_{cond}$

٣٣ – ١ يقطع مسار خطوط المجال في المغنطيس المبين بالشكل السابق المسافة 299 mm في صاج المحولات (انظر اللوحة ٣٢ للمنحنى الخصائصي)، والمسافة 1 mm في الثغرة الهوائية باعتبار المساحة المستعرضة A للمجال متساوية في جميع الأجزاء. ما مقدار وصلية التدفق Θ اللازمة لكثافة تدفق قدرها 0,8 T؟

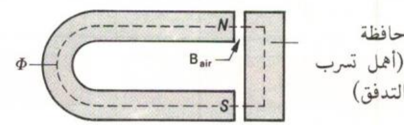
ارشاد للحل:

| | B (T) | H (A/mm) | l (mm) | Θ (A) | المجموع |
|---|---|---|---|---|---|
| هواء | 0,8 | ? | 1 | ? | ? |
| حديد | 0,8 | ? | 299 | ? | |

٣٣ – ٢ ما هي وصلية التدفق التي يحتاجها نفس المغنطيس السابق لكثافة تدفق قدرها: أ) 1,2 T ب) 1,5 T ج) 1,6 T.

٣٣ – ٣ إذا صغرت المساحة المستعرضة للمجال فإن كثافة التدفق B يجب أن تصبح أكبر لنفس التدفق Φ. احسب الكميات المجهولة بالجدول لمغنطيس حذوة الحصان المبين بالشكل:

| | B (T) | A (mm²) | Φ (μVs) |
|---|---|---|---|
| الثغرة الهوائية | 1 T | 600 mm² | ? |
| قلب المغنطيس | ? | 400 mm² | ? |
| الحافظة | ? | 1000 mm² | ? |




٣٣ – ٤ احسب قيم Φ و B في الثغرة الهوائية لنفس المغنطيس السابق عند: أ) 0,25 T ب) 1,5 T ج) 0,7 T د) 1,1 T.

٣٣ – ٥ يراد رفع قطعة من حديد الزهر (انظر المنحنى الخصائصي في اللوحة ٣٢) بمغنطيس رافع من صاج المحولات (معامل الحيز 1، للمنحنى الخصائصي أنظر اللوحة ٣٢) عبر ثغرتين هوائيتين كل منهما 2 mm (كثافة التدفق في الهواء 1,0 T) وتقدر المساحة المستعرضة في الهواء بمقدار 1800 mm².

احسب:



أ) قوة الشد (ضعف المساحة المستعرضة في الهواء)

ب) وصلية التدفق الكلية Θ (على شكل جدول)

ج) مساحة مقطع اللفيفة $(S = 2\ A/mm^2;\ f_{Cu} = 0{,}8)$ د) قطر السلك $(U = 60\ V;\ l_m = 0{,}27\ m)$ هـ) المقاومة R وعدد لفات الملف N.

### الدوائر المغنطيسية البسيطة

احسب الثغرات الهوائية أو المسافات الداخلية للملفات ذات القلب الهوائي (وتساوي تقريبًا هنا الطول الداخلي + نصف القطر).

٣٣ – ٦ مغنطيس حماية (الطول المتوسط في الحديد 200 mm) يشد عبر ثغرتين هوائيتين (كل منهما 4 mm) وتثار لفيفته (عدد لفاتها 1600 لفة) بواسطة تيار I قدره 400 mA.

احسب:

أ) شدة المجال H (الإثارة بثغرة هوائية 1 mm) ب) كثافة التدفق B في الثغرة الهوائية ج) قوة الشد السطحي لقطبين مساحة كل منهما 400 mm².

٣٣ – ٧ يراد أن يقوم مغنطيس حماية - يثار بالتيار المستمر - بالشد بقوة 10 N عبر ثغرتين هوائيتين (كل منهما 6 mm ومساحة سطح القطب لكل منهما 200 mm²).

احسب:

أ) كثافة التدفق اللازمة في الثغرة الهوائية ب) شدة المجال المصاحبة (الإثارة لثغرة 1 mm) ج) وصلية التدفق (قيمة الأمبيرلفة).

٣٣ – ٨ يراد أن تشد حافظة مرحل عبر ثغرة هوائية طولها 5 mm بكثافة تدفق 0,15 T. احسب:

أ) وصلية التدفق اللازمة. ب) مساحة مقطع اللفيفة $(S = 3\ A/mm^2;\ f_{Cu} = 0{,}8)$

ج) مساحة مقطع السلك $(U = 12\ V;\ l_m = 0{,}08\ m)$

د) مقاومة السلك R وعدد اللفات.

٣٣ – ٩ يراد أن ينشأ في ملف اسطواني ذي قلب هوائي (الطول الداخلي 100 mm ونصف القطر 30 mm) مجال مغنطيسي ذو كثافة تدفق 0,08 T عند الإثارة بتيار I قدره 10 A.

احسب:

أ) شدة المجال H ب) وصلية التدفق Θ ج) العدد اللازم من اللفات.

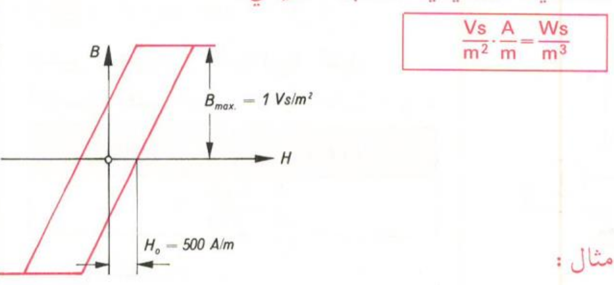
٣٣ – ١٠ ملف اسطواني ذو قلب هوائي، الطول الداخلي 150 mm نصف قطر اللفة 50 mm وعدد اللفات 250 لفة.

أوجد: أ) مقدار مواصلته المغنطيسية ب) مقدار كثافة التدفق التي يمكن قياسها في داخل الملف بتيار إثارة شدته 5 A؟

### الفقد عند التخلفية المغنطيسية (التعويق المغنطيسي)

تبين لنا المساحة المحصورة داخل المنحنى الأنشوطي الفقد عند التخلفية المغنطيسية للقلب الحديدي.

$$\frac{Vs}{m^2}\cdot\frac{A}{m} = \frac{Ws}{m^3}$$




مثال:

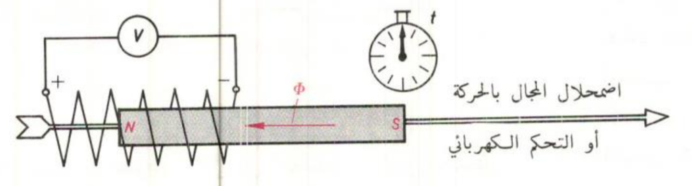
احسب للقلب $(V = 200\ cm^3 = 0{,}0002\ m^3)$ ذي المنحنى الأنشوطي المرسوم أعلاه الشغل عند التخلفية المغنطيسية لمرة واحدة والقدرة عند تخلفية مغنطيسية بمعدل 50 مرة في الثانية.

الحل: $W = V \cdot 2\ B_{max} \cdot 2\ H_o = 0{,}0002 \cdot 2 \cdot 1000\ Ws = 0{,}4\ Ws$

$P = W \div t = 0{,}4\ Ws \div 1/50\ s = 20\ W$

## ق . د . ك المنتجة بالحث عند تغير المجال المغنطيسي

يولد التغير في المجال المغنطيسي 1Vs لكل ثانية في الملف المحيط به نبضة جهد قدرها 1V لكل لفة . وتزداد القوة الدافعة الكهربائية (ق . د . ك) بزيادة التغير في التدفق والسرعة وعدد اللفات ، وعلى ذلك يولد تغير تدفق منتظم $\Delta\Phi$ في زمن قدره t لعدد N من لفات الملف .




ق . د . ك المنتجة بالحث (صورة عامة للصيغة الرياضية) :

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{t} \cdot N$$

الوحدات : s و Vs و V

تعني الإشارة السالبة أننا نحصل – بالنظر في اتجاه التدفق – في حالة المجال المغنطيسي المتناقص على قوة دافعة كهربائية تدور في اتجاه عقرب الساعة (يسبب المجال المتزايد جهدا يدور ضد اتجاه عقرب الساعة)

الصيغة الرياضية للحركة الدورانية (المولد) :

$$E = B \cdot v \cdot l_{eff}$$

بوحدات : m و m/s و T و V

$l_{eff}$= الطول الفعال للموصل (تحت سطوح الأقطاب)

ملاحظة :
v= السرعة العمودية على المجال وتتغير v و(ق . د . ك) مع زاوية قطع المجال وعند الدوران المتوازي يكونان مساويان للصفر

**اشتقاق الصيغة الرياضية للقوة الدافعة للملف المتحرك :**

يقطع الموصلان المفردان لكل لفة في مسارهما s المساحة المستعرضة للتدفق :

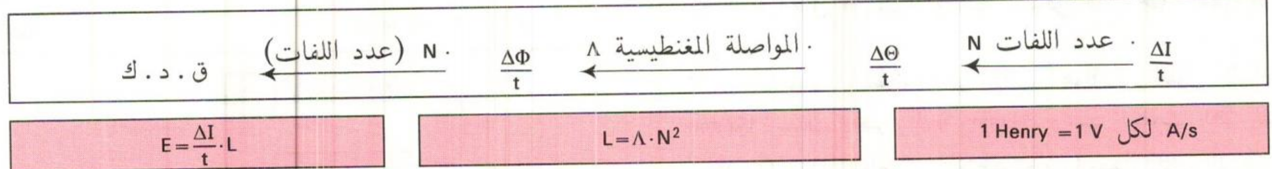
$$\Delta A = 2 \cdot l_1 \cdot s$$

$$B \cdot l_{eff} \cdot v = B \cdot (N \cdot 2 \cdot l_1) \cdot s/t = B \cdot N \cdot \frac{2 \cdot l_1 \cdot s}{t} =$$

$$= B \cdot N \cdot \Delta A/t = N \cdot \Delta\Phi/t$$

## سلوك الملف عند الوصل أو الفصل

في الملفات المغنطيسية يؤدي كل تغيير في تيار الملف I عبر المجال المغنطيسي الذاتي إلى نبضة جهد : (ق . د . ك) مضادة عند وصل الدائرة و (ق . د . ك) إضافية عند فصل الدائرة (الحث الذاتي) .




| 1 Henry = 1 V لكل A/s | $L = \Lambda \cdot N^2$ | $E = \frac{\Delta I}{t} \cdot L$ |
|---|---|---|

الكمية المقاسة لسلوك الملف عند الوصل والفصل هي المحاثة L وتقاس بالهنري (H). ويعطي ملف ذو محاثة (هنري) L=1 H عند تغير في التيار قدره 1A/s نبضة جهد قدرها 1V.

مثال : فصل التيار 6 A المار خلال ملف ذي محاثة قدرها 5 H في 1/50 من الثانية . احسب جهد النبضة (ق . د . ك) .

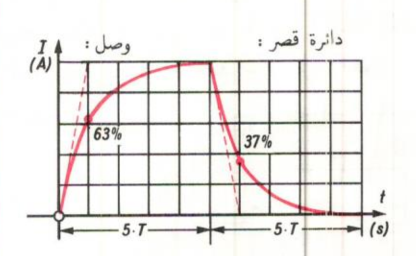
الحل :

$$E = L \cdot \Delta I/t = 5H \cdot 6A/1/50\ s = \underline{1500\ V}$$

### التغيير التعويقي (المتباطئ) للتيار

التوصيل وقصر الدائرة لملفات ذات L و R

| T=L/R | t=5·T |
|---|---|
| $\frac{H}{\Omega} = \frac{Vs/A}{V/A} = s$ | |




### توصيل الملفات :

| |
|---|
| $L\ (\text{توالي}) = L_1 + L_2 + ...$ |
| $\frac{1}{L\ (\text{توازي})} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ...$ |

يجمع التوصيل على التوالي جهد النبضات للملفات ويرفع المحاثة L .
يوزع التوصيل على التوازي التغير في التيار ويخفض المحاثة L (تنطبق الصيغ الرياضية فقط ما لم تؤثر المجالات المغنطيسية للملفات ضد بعضها البعض) .

تمرينات

مثال :

سحب قضيب مغنطيسي ($\Phi = 0{,}0001\ Vs$) خارج ملف قياس (عدد لفاته = 10 000 لفة) بحيث ينخفض التدفق في الملف في الثانية الواحدة بانتظام إلى الصفر ، والمطلوب حساب ق . د . ك .

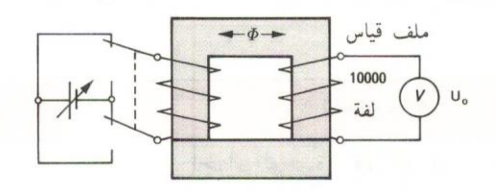
الحل : $E = -\frac{\Delta\Phi}{t} \cdot N = \frac{0{,}0001\ Vs}{1s} \cdot 10\,000 = \underline{1\ V}$

٣٤ — ١ أجر نفس العملية الحسابية السابقة باستخدام القضبان المغنطيسية وملفات القياس التالية :

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| مساحة مقطع القضيب A | 6 cm² | 200 mm² | 10 cm² |
| كثافة المجال الداخلية B | 0,2 T | 0,3 T | 0,25 T |
| التغير في التدفق $\Delta\Phi$ | ? | ? | ? |
| زمن التغير t | 2 s | 3 s | 0,5 s |
| عدد اللفات N | 5 000 | 1000 | 12 000 |
| ق . د . ك . لملفات القياس | ? | ? | ? |

٣٤ – ٢ تشد حافظة مغنطيس يثار بالتيار المستمر بواسطة موصل مغنطيسي محسّن (بدون ثغرة هوائية) فيزداد التدفق المغنطيسي في 0,1 s بمقدار 0,0012 Vs . ما مقدار ق . د . ك . المضادة المؤثرة على ملف الإثارة للمغنطيس (عدد لفاته = N=5 000) ؟

٣٤ — ٣ عن طريق شدة التيار في ملف الإثارة يمكن التحكم في التدفق $\Phi$ لمغنطيس كهربائي من ثانية إلى أخرى بقيم التحكم التالية :




| الثانية | من | إلى | $U_o$ (Volt) | $\Delta\Phi$ (Vs) |
|---|---|---|---|---|
| الأولى | صفر | +200 µVs | ? | ? |
| الثانية | +200 µVs | +200 µVs | ? | ? |
| الثالثة | +200 µVs | صفر | ? | ? |
| الرابعة | صفر | −200 µVs | ? | ? |
| الخامسة | −200 µVs | −200 µVs | ? | ? |
| السادسة | −200 µVs | صفر | ? | ? |

اكتب قيم التدفق المغنطيسي $\Phi$ (100 µVs ≙ 1 cm رأسيا) وقيم جهد ملف القياس $U_o$ (2 V ≙ 1 cm رأسيا) معا في المنحنى الخصائصي مع زمن قدره 6×2 ثانية (1 s ≙ 1 cm أفقيا) .

٣٤ – ٤ يعمل مولد بحيث تتحرك أسلاك لفائف عضو الإنتاج بسرعة 5 m/s عموديا على مجال الثغرة الهوائية لحذاء القطب (0,6 T) .

أ ) احسب ق . د . ك . لموصل طوله المغنطيسي الفعّال في مجال القطب = 0,15 m .

ب) ما هو الجهد المستحث إذا تحرك في وقت واحد 40×2 من الموصلات (المتصلة على التوالي) في المجال المغنطيسي؟ .

مثال :

ملف ذو قلب حديدي (مواصلة المغنطيس 3 µH) به 1000 لفة تم التحكم في تيار إثارته في زمن 0,5 من الثانية من 100 mA إلى 500 mA . احسب ق . د . ك . المضادة .

طريقة الحل الأولى :

$E = N \cdot \Delta\Phi/t = 1000 \cdot 0{,}0012\ Vs/0{,}5\ s = \underline{2{,}4\ V}$

$\Delta\Phi = \Lambda \cdot \Delta\Theta = 0{,}000\,003 \cdot 400\ Vs = 0{,}0012\ Vs$

$\Delta\Theta = N \cdot \Delta I = 1000 \cdot 0{,}4\ A = 400\ A$

طريقة الحل الثانية :

$E = L \cdot \Delta I/t = 3\ H \cdot 0{,}4\ A \div 0{,}5\ s = \underline{2{,}4\ V}$

$L = \Lambda \cdot N^2 = 0{,}000\,003\ H \cdot 1000^2 = 3\ H$

٣٤ – ٥ احسب محاثة الملفات في الجدول التالي :

| | عدد اللفات N | مواصلة المغنطيس Λ | L (H) |
|---|---|---|---|
| أ ) | 500 | 1 µH | ? |
| ب) | 1000 | 2 µH | ? |
| جـ) | 1000 | $2 \cdot 10^{-6}$Vs/A | ? |
| د ) | 1000 | 4 µH | ? |
| هـ ) | 10 000 | 0,5 µH | ? |
| و ) | 100 | 0,18 µH | ? |

٣٤ – ٦ أكمل الجدول التالي إذا كانت نبضات الجهد عند وصل وفصل الملفات هي :

| | Δ I | t (s) | L (H) | E (V) | الاتجاه |
|---|---|---|---|---|---|
| أ ) | +0,4 A | 2 s | 3 H | ? | ? |
| ب) | −1,5 A | 0,01 s | 8 H | ? | ? |
| جـ) | −6 A | 0,01 s | 50 mH | ? | ? |
| د ) | +0,4 A | 0,5 s | ? | 4,8 V | مضاد |
| هـ ) | −1 A | 1 s | ? | 1 V | مع I |
| و ) | −10 A | 0,01 s | ? | 1200 V | مع I |

ملاحظة : عند وصل الملفات في الدائرة أو عند عمل قنطرة عليها فإن ق . د . ك . الحثية تمنع وجود تغير مفاجئ في تيار الملف : يحتاج التيار I إلى خمسة أمثال الثابت الزمني (5·L/R) لحدوث التغير . ويمكن التحكم في ΔI ليكون أكثر بطءً وليس أكثر سرعة .

٣٤ – ٧ وصّل ملف (2,4 H و 10 Ω) في دائرة .

أ ) ما الزمن الذي يحتاجه تيار الملف للزيادة؟

ب) ما الزمن الذي يحتاجه تيار الملف للزيادة إذا وصلت به مقاومة توال قدرها 20 Ω؟

٣٤ — ٨ ما محاثة ملف عدد لفاته 500 لفة وقلب حديدي مقفل؟ ($l_m = 400\ mm$; $A = 900\ mm^2$; $\mu_r = 2400 \cdots 800$)

٣٤ — ٩ احسب محاثة ملف عدد لفاته 250 لفة يحتوي قلبه الحديدي (لايؤخذ القلب الحديدي في الاعتبار) على ثغرتين هوائيتين كل منهما 5 mm (المساحة لكل منهما 1000 mm²) .

٣٤ — ١٠ ما محاثة ملف هوائي عدد لفاته 250 لفة (الطول الداخلي 77 mm قطر اللفة 46 mm) . قارن مع الجزء الأخير من اللوحة (٣٣) .

٣٤ — ١١ إذا وصّل ملفان (كل منهما 750 mH) ذوا مجالين مغنطيسيين منفصلين :

أ) على التوازي ب) على التوالي . احسب المحاثة الكلية .

## المجال الكهربائي (القوة المؤثرة على الشحنات)

(١) تتولد المجالات الكهربائية عن طريق فصل الشحنات. ويزداد الشغل المبذول في الفصل (القوة مضروبة في المسافة) بزيادة الشحنة أو الجهد (طاقة الوضع للشحنات).

(٢) تتغير شدة المجال الكهربائي E (V/m أو V/mm) في الفراغ مع كثافة المجال فتكون القيم العظمى عند أطراف الأقطاب وعند الحواف.

(٣) يؤدي التقارب بين القطب الموجب والقطب السالب عند جهد شبكة معين إلى ارتفاع شدة المجال. وإذا كان المكثف معزولاً وغير موصل بالشبكة، يؤدي هذا التقارب إلى تناقص الجهد.

(٤) تستطيع المواد العازلة عن طريق إزاحة الشحنات، تخطّي المسافات بين الأقطاب وبذلك تزيد من قوى المجال. ويقارن ثابت العازل $\varepsilon_r$ (تنطق إبسيلون) بين قدرة الإزاحة للمواد العازلة والهواء.

| | |
|---|---|
| الشحنة الكهربائية | $Q = I \cdot t$ (As) |
| الشغل المبذول في الفصل | $F \cdot l = Q \cdot U$ (Nm = Ws) |
| شدة المجال الكهربائي (القوة لكل شحنة) | $\frac{F}{Q} = \frac{U}{l}$ $\left(\frac{V}{m} = \frac{N}{As}\right)$ |

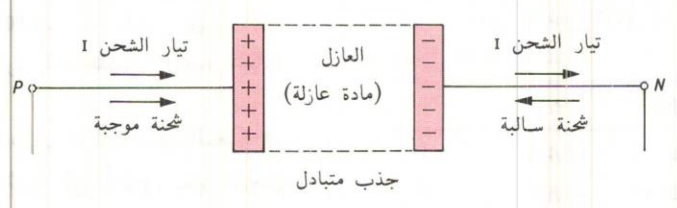
| شدة مجال الانهيار (kV/mm) |
|---|
| الهواء الجاف من 1 إلى 2 |
| لدائن PVC من 20 إلى 50 |
| الخزف 35 |

أقل مسافة تبعاً لتعليمات VDE 0101

>1000 V

| |
|---|
| ثابت العازل $\varepsilon_r$ (معامل التكهرب) وقيمته: للهواء = 1 لزيت العزل = 2 وللدائن PVC = 4 وللزجاج حتى 8 |

## سلوك المكثف عند وصل وفصل الدائرة




يؤدي التغير في الجهد على المكثف إلى تيارات شحن أو تفريغ وتتوقف شدة التيار على سرعة تغيير الجهد وعلى سعة المكثف (مساحة سطح الألواح A والمسافة بين الألواح l وثابت العازل $\varepsilon_r$)

| تيار الشحن أو التفريغ | الوحدات (nF, m², mm) | أجزاء الوحدة: µF, nF, pF |
|---|---|---|
| $I = \frac{\Delta U}{t} \cdot C$ | $C = \frac{A \cdot \varepsilon_r}{l} \cdot 8{,}85$ | 1 Farad = 1 A لكل V/s |

تُتَّخذ السعة C كمية قياس لسلوك الوصل والفصل في الدائرة لمكثف ما وتقاس بالفاراد (F). ويسحب المكثف الذي سعته 1F تيارا قدره 1A عند حدوث تغير في الجهد قدره 1V/s.

وأجزاء الوحدة هي:

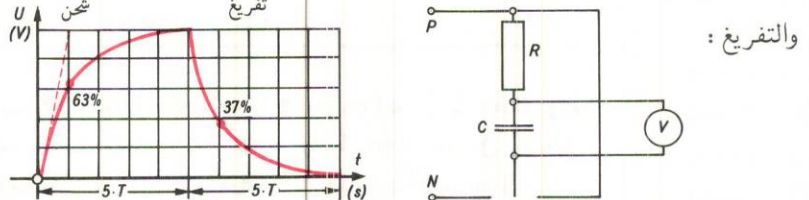
$1\,F = 10^6\,\mu F = 10^9\,nF = 10^{12}\,pF$ (ميكروفاراد µF ، نانوفاراد nF ، بيكوفاراد pF).

مثال: يتغير الجهد على مكثف سعته 50 µF في زمن 1/100 s بمقدار 600 ڤولط. احسب نبضة التيار.

الحل: $I = C \cdot \Delta U / t = 50/10^6\,F \cdot 600\,V \div 1/100\,s = \underline{3\,A}$

التغير التعويقي (المتباطئ) للجهد عند الشحن والتفريغ:

| $T = C \cdot R$ | $t = 5 \cdot T$ |
|---|---|
| بوحدة | $F \cdot \Omega = \frac{As}{V} \cdot \frac{V}{A} = s$ |




### توصيل المكثفات

يجمع التوصيل على التوازي مساحات الألواح A ويرفع السعة C.

يجمع التوصيل على التوالي المسافات بين الألواح l ويخفض السعة C.

تطبق الصيغة التالية لتوصيل عدد n من السعات المتساوية على التوالي قدر كل سعة $C_1$:

$C$ (توالي) $= \frac{C_1}{n}$

| |
|---|
| $C_{توازي} = C_1 + C_2 + \ldots$ |
| $\frac{1}{C_{توالي}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots$ |

تمرينات

## المجال الكهربائي

يجب تجنب الخلط بين : E (بوحدة V/m) = شدة المجال الكهربائي و E بالفولط (V) = ق . د . ك . (emf)

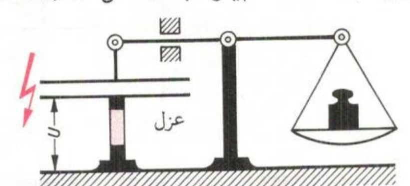
ملاحظة : تتطابق رموز الصيغ الرياضية بطريق الصدفة فقط . وينطبق في حالة الهواء :

$$\frac{8,85}{10^{12}}\ \frac{As/m^2}{V/m}\ \left[\frac{As}{Vm}=\frac{F}{m}\right]=\frac{\text{كثافة الشحنة}}{\text{شدة المجال الكهربائي}}$$

٣٥ – ١ ما هي الشحنة التي تسري في سلك موصل يمرر لمدة أ) 5 ثوان ، ب) 0,3 من الثانية ، ج) 0,025 من الثانية ، تياراً مستمراً بقيمة متوسطة 200 mA؟

٣٥ – ٢ ما هي شدة التيار المتوسطة اللازمة :
أ) لشحن 66 Ah في 20 h في بطارية سيارة. ب) لتكوين شحنة قدرها 3 µAs في 0,1 s على لوح معدني؟

٣٥ – ٣ يوجد مجال كهربائي منتظم (متساو في جميع الأجزاء) في الهواء بين لوحين معدنيين ذوي شحنتين متضادتين .
أ) ما مقدار شدة المجال E (V/mm) لمسافة 5 mm بين اللوحين وجهد بينهما قدره 2000 V؟ ب) حوّل شدة المجال هذه إلى الوحدة V/cm ثم إلى الوحدة V/m. ج) ما مقدار قوة الجذب F الناتجة بين اللوحين ، إذا كانا مشحونين بشحنة 1,25 µAs؟
ارشادات للحل : استعمل $F=E\cdot Q/2$ (والوحدات : $N=V/m\cdot As$)
د) إلى أي مدى يسمح بإنقاص المسافة بين اللوحين بدون حدوث انهيار (يحدث الانهيار ابتداء من 1 kV/mm) ؟




٣٥ – ٤ يوصل المجال المنتظم الموجود بين لوحي مكثف تجارب جهدا قدره 1000 V عبر مسافة 5 mm بين اللوحين. وبفصل اللوحين المشحونين عن الشبكة تتغير المسافة بينهما مع الجهد في تناسب طردي (الفولطمتر الإستاتي الكهربائي) .
أ ) إذا بقي اللوحان متصلان بالشبكة : ما مقدار U و E بعد تقريب اللوحين إلى مسافة 2 mm؟
ب) إذا فصل اللوحان المشحونان عن الشبكة : مامقدار U و E بعد التقارب إلى مسافة 2 mm ؟
ج) إذا فصل اللوحان المشحونان عن الشبكة : مامقدار U و E بعد إدخال قرص زجاجي سمكه 5 mm ($\varepsilon_r=8$)؟ التقارب الظاهري هو $1\div\varepsilon_r$ .

## المكثف .

مثال : ما هو تيار الشحن المار في مكثف (مساحة اللوح 1 m² والمسافة 0,02 mm وثابت العزل $\varepsilon_r=6$) إذا ما رفع الجهد بين اللوحين في 1/100 من الثانية من 100 V إلى 400 V ؟ ما هي الشحنة الإضافية المسحوبة؟

الحل : $\Delta U=300\ V;\ t=0,01\ s;\ A=1\ m^2;\ l=0,02\ mm;\ \varepsilon_r=6;$

$$C=\frac{A\cdot\varepsilon_r}{l}\cdot 8,85=\frac{1\cdot 6}{0,02}\cdot 8,85\ nF=2660\ nF=\underline{2,66\ \mu F}$$

$$I=\frac{\Delta U\cdot C}{t}=\frac{300\cdot 2,66\ mA}{0,01\cdot 10^6}=\underline{80\ mA}$$

$$Q=\Delta U\cdot C=\underline{0,8\ mAs}$$

٣٥ – ٥ حوّل القيم الموضحة بالجدول إلى فاراد :

| أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 5000 µF | 25 µF | 20 000 nF | 800 nF | 120 000 pF | 2000 pF |

٣٥ – ٦ احسب الشحنة بالوحدة As :

| أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 kV | 1000 V | 300 V | 525 V | 400 V | 180 V |
| 2500 µF | 1 F | 16 µV | 100 µF | 250 nF | 2000 pF |

الحل للجزء (ج) :

$Q=U\cdot C=300\ V\cdot 16\ \mu F/10^6=0,0048\ As$

٣٥ – ٧ احسب تيار الشحن (أو التفريغ) :

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| الجهد ($U_1$) | 100 V | 0 | 400 V | 500 V |
| الجهد ($U_2$) | 500 V | 220 V | 0 | 100 V |
| التغير ($\Delta U$) | ? | ? | ? | ? |
| زمن التغير | 0,01 s | 0,02 s | 0,02 s | 0,01 s |
| السعة (C) | 80 µF | 10 µF | 20 µF | 50 nF |
| شدة التيار (I) | ? | ? | ? | ? |

ملاحظة : لا يمكن التحكم في تغير الجهد بسرعة اختياريا بل يحتاج التغير إلى زمن قدره $t=5\cdot T=5\cdot C\cdot R$ على الأقل .

٣٥ – ٨ احسب سعة كل من المكثفات التالية :

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| مساحة اللوح | 2 m² | 4 m² | 0,25 m² | 500 m² |
| المسافة بين اللوحين | 0,1 mm | 0,05 mm | 10 mm | 0,01 mm |
| ثابت العزل | $\varepsilon_r=1$ | $\varepsilon_r=7$ | $\varepsilon_r=1$ | $\varepsilon_r=8$ |

٣٥ – ٩ ما هي قيم السعة الناتجة عند توصيل : أ) وحدتين ب) 3 وحدات ج) 6 وحدات من مكثفات ذات سعة متساوية قدرها 12 µF؟
١ – على التوالي ٢ – على التوازي

٣٥ – ١٠ يراد استبدال مكثف 2 µF/200 V بمكثفات ذات 2 µF/100 V. ارسم الدائرة المكافئة .

## منحنى التوازن

٣٥ – ١١ احسب الوقت اللازم لتفريغ شحنة مكثف سعته 200 µF في المقاومات التالية :
أ) 100 kΩ ب) 20 kΩ ج) 5 kΩ د) 800 Ω

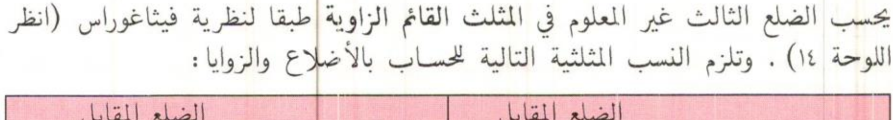
٣٥ – ١٢ احسب زمن الشحن أو التفريغ لكل من القيم الموضحة بالجدول :

| أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 µF | 5 µF | 100 µF | 40 nF | 0,5 µF | 750 pF |
| 1 MΩ | 200 kΩ | 50 kΩ | 1 MΩ | 6 kΩ | 2 MΩ |

٣٥ – ١٣ استغرق تفريغ مكثف في حالة عدم تناقص التيار ($I=U_c\div R$) زمنا قدره $t=C\cdot R=2\ s$ .
أ) ارسم منحنى التفريغ الفعلي لجهد $U_c=100\ V$ (يبقى 37% من الجهد بعد مرور كل ثانيتين) ب) ارسم منحنى الشحن (يقل المقدار الناقص عن 100 V بعد كل ثانيتين بنسبة 37%) .

## الدوال المثلثية للزاوية α

يحسب الضلع الثالث غير المعلوم في المثلث القائم الزاوية طبقا لنظرية فيثاغوراس (انظر اللوحة ١٤) . وتلزم النسب المثلثية التالية لحساب بالأضلاع والزوايا :



| | |
|---|---|
| جيب الزاوية (sin) $= \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}}$ | ظل الزاوية (tan) $= \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الضلع المجاور}}$ |
| جيب تمام الزاوية (cos) $= \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}}$ | ظل تمام الزاوية (cot) $= \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الضلع المقابل}}$ |

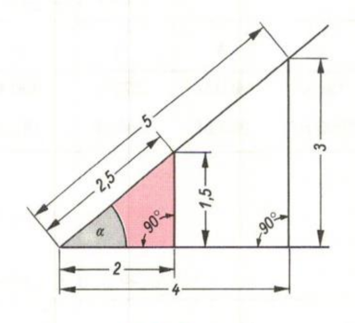
تحدد النسب بين الأضلاع في المثلث قائم الزاوية بواسطة زاوية واحدة α وتتوقف هذه النسب على الزاوية فقط وليس على أبعاد المثلث (انظر المثال) .

وتوجد دوال الزوايا المثلثية في جداول الزوايا منفصلة لكل من الجيب (sin) وجيب التمام (cos) والظل (tan) وظل التمام (cot) .

تستعمل الصيغتان التاليتان لحساب بالمسطرة الحاسبة :

$\cos\alpha = \sin(90° - \alpha); \quad \cot\alpha = \tan(90° - \alpha)$

مثال : $\alpha \approx 37°$

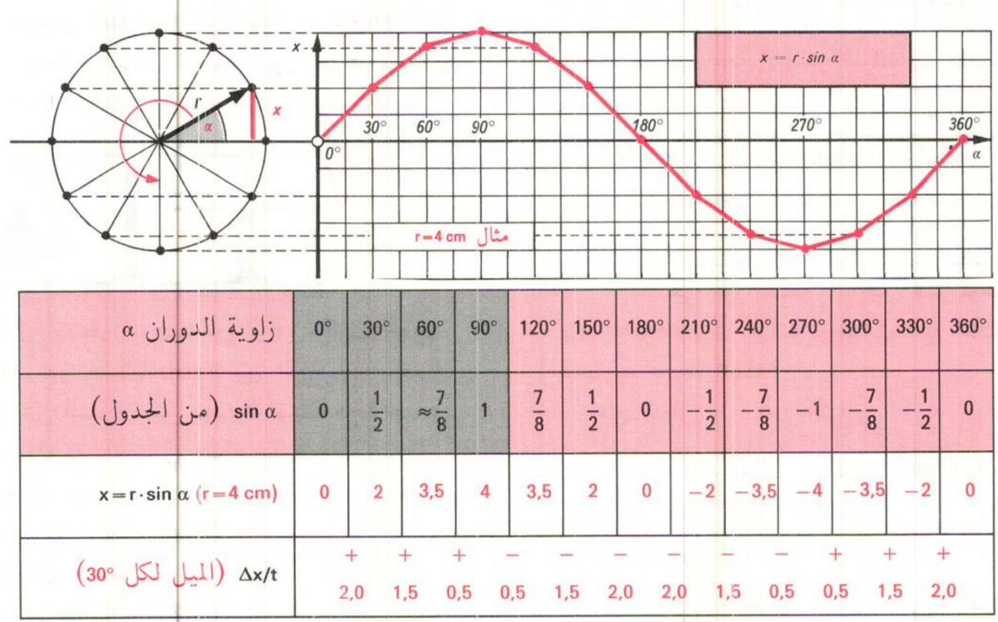



$\sin\alpha = \frac{1,5}{2,5} = \frac{3}{5} = 0,6$

$\tan\alpha = \frac{1,5}{2} = \frac{3}{4} = 0,75$

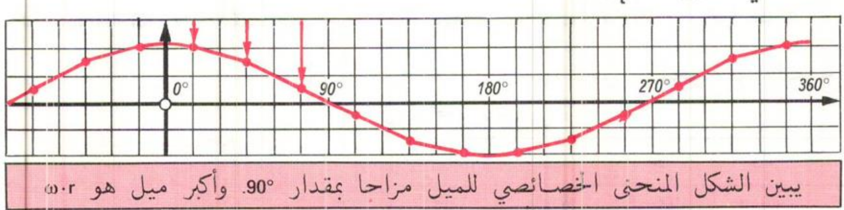
## منحنى الجيب ~

(١) يطلق مصطلح منحنى الجيب على المنحنى الخصائصي للمركبة الرأسية (هنا : x) لطول المتجه r لزاوية دوران متزايدة α . والقيمة العظمى للمنحنى الجيبي هي طول المتجه r . وفي المثلث ذي الزاوية α (∢α) يكون : $\sin\alpha = x \div r$ وبالتبديل يحسب لكل زاوية دوران : $x = r \cdot \sin\alpha$




| زاوية الدوران α | 0° | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° | 180° | 210° | 240° | 270° | 300° | 330° | 360° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sin α (من الجدول) | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\approx\frac{7}{8}$ | 1 | $\frac{7}{8}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{7}{8}$ | −1 | $-\frac{7}{8}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 |
| $x = r \cdot \sin\alpha$ (r=4 cm) | 0 | 2 | 3,5 | 4 | 3,5 | 2 | 0 | −2 | −3,5 | −4 | −3,5 | −2 | 0 |
| Δx/t (الميل لكل 30°) | +2,0 | +1,5 | +0,5 | −0,5 | −1,5 | −2,0 | −2,0 | −1,5 | −0,5 | +0,5 | +1,5 | +2,0 | |

(٢) المنحنى الخصائصي للميل : $\left(\frac{\Delta x}{t}\right)$




يبين الشكل المنحنى الخصائصي للميل مزاحا بمقدار 90°. وأكبر ميل هو ω·r

وهو يبدأ بأكبر ميل ويعطي النسبة Δx/t (تغير x في الزمن t) . وعندما يكون المتجه عموديا (α=90°) لا يوجد تغير في x . وعندما يكون المتجه أفقيا يعطي أكبر تغير في x بسرعة المتجه . سرعة المتجه : $v = \omega \cdot r$ (انظر اللوحة ١٧) وهي تساوي السرعة الزاويّة مضروبة في طول المتجه .

مثال : يدور متجه طوله r=4 cm بسرعة دوران n=5 r.p.m. .

اوجد كلا من القيمة العظمى وأكبر ميل لمنحنى الجيب؟

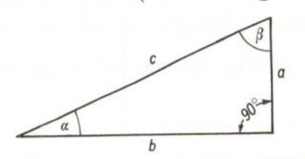
الحل : القيمة العظمى : r=4 cm

أكبر ميل : $\omega \cdot r = \pi/6 \cdot 4$ cm/s = 2,1 cm/s

$\omega = 2\pi \cdot n/60 = 6\pi$ rad/s

تمرينات

٣٦ — ١ احسب الضلع الناقص في المثلث بواسطة نظرية فيثاغوراس (قارن مع اللوحة ١٤).




| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| الضلع a | 9 cm | 8 cm | ? | 26 cm | ? |
| الضلع b | ? | 15 cm | 15 cm | ? | 11 cm |
| الضلع c | 15 cm | ? | 20 cm | 50 cm | 12 cm |

٣٦ - ٢ اوجد قيم الزاويا α وβ وγ بالدرجات من البيانات الموضحة بالجدول مستعملا الجداول الرياضية.

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| cos α | 0,3 | 0,4 | 0,95 | 0,65 | 0,85 |
| sin β | 0,25 | 0,35 | 0,88 | 0,62 | 0,58 |
| tan γ | 0,1 | 0,35 | 1,6 | 0,9 | 5,2 |

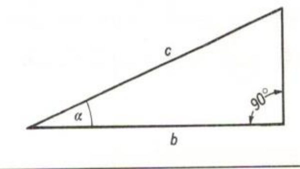
٣٦ - ٣ أكتب قيم الدوال المثلثية الواردة بالجدول بدون استعمال الجداول ثم قارن القيم الموجودة بالجداول الرياضية.

| النسب المثلثية | sin جا | cos جتا | tan ظا | cot ظتا |
|---|---|---|---|---|
| ∢ 0° | ? | ? | ? | ? |
| 30° | ? | ? | ? | ? |
| 45° | ? | ? | ? | ? |
| 60° | ? | ? | ? | ? |
| 90° | ? | ? | ? | ? |

٣٦ - ٤ اوجد القيم الناقصة بالجدول التالي:

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| cos α | 0,65 | 0,8 | ? | ? | ? |
| sin α | ? | ? | 0,9 | ? | ? |
| tan α | ? | ? | ? | 1,5 | 0,5 |

٣٦ - ٥ تمثل الأبعاد المعطاة في الجدول مثلثات قائمة الزاوية. والمطلوب إكمال القيم الناقصة:

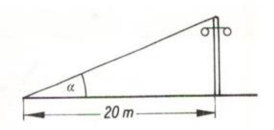



| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| b (mm) | ? | 19 | ? | 62 | ? |
| c (mm) | 220 | ? | 76 | ? | 115 |
| ∢α | ? | 65° | 53° | ? | ? |
| sin α | 0,6 | ? | ? | ? | 0,68 |
| cos α | ? | ? | ? | 0,75 | ? |

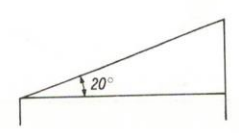
٣٦ — ٦ احسب جميع الأضلاع والزوايا للمثلثات قائمة الزاوية والتي تشتمل على: أ) c = 12 cm و α = 25°

ب) b = 7,5 cm و β = 40° ج) c = 12 cm و a = 10 cm.

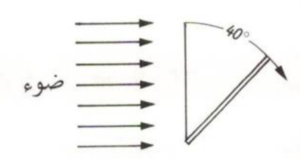
٣٦ — ٧ عند تعيين ارتفاع عمود لخطوط التوصيل الهوائية على بعد قدره 20 m قيست الزاوية α = 31° بواسطة تحديد الاتجاه. ما مقدار ارتفاع قمة العمود عن مستوى الرصد؟




٣٦ — ٨ إذا كانت المساحة الأساسية للوحة التحكم هي 75 cm × 150 cm. احسب مساحة مسقط اللوحة في الوضع المائل بزاوية قدرها 20°.




٣٦ — ٩ احسب النسبة المئوية للضوء غير المستفاد منه إذا ما أدير السطح المضاء بزاوية 40°.




٣٦ — ١٠ احسب للمتجه r = 5 cm قيمة المركبة الرأسية عند:

أ) α = 0°
ب) α = 30°
ج) α = 60°
د) α = 90°




٣٦ — ١١ ارسم للمتجه r = 6 cm منحنى الخواص للمركبة الرأسية للقيمة x عند تزايد الزاوية α بمقدار 30° في كل مرة.

٣٦ — ١٢ ارسم منحنى الجيب للمتجه r = 8 cm (سجل نقط المنحنى كل 30°. تضرب قيم الجيب r في المقادير 0, $\frac{1}{2}$, $\frac{7}{8}$, 1 على التوالي) دوّن قيم الميل بين نقط المنحنى (لاحظ الإشارة) ثم صل قيم الميل لتكون منحنى جيب جديد. قس الإزاحة الجانبية بين كلا المنحنيين بالدرجات.

٣٦ - ١٣ متجه r يدور 10 مرات كل ثانية.

أ) احسب السرعة الزاويّة بالدرجات لكل ثانية.

ب) احسب ω بالزاوية نصف القطريّة (rad) لكل ثانية.

ج) احسب السرعة المحيطية لمتجه 5 cm.

د) ارسم منحنى الجيب للمتجه المذكور وحدد أكبر ميل له عند مروره بنقطة الصفر.

٣٦ — ١٤ يدور ملف متحرك ذو أنشوطة مربعة الشكل 8 مرات في كل ثانية (أبعاده الداخلية هي 40 mm × 40 mm) في مجال مغنطيسي منتظم كثافة تدفقه 0,1 T:

احسب عند α = 0°, 30°, 60°, 90°:

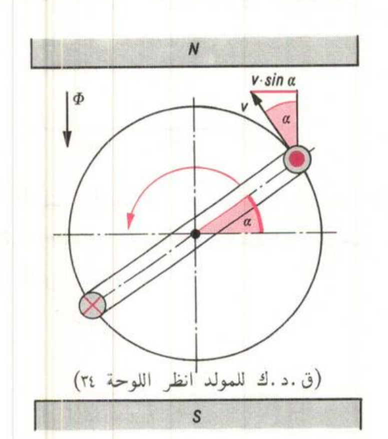
أ) التدفق Φ خلال الأنشوطة (Φ العظمى تكون عند 90°)

ب) سرعة تغير التدفق Φ في الأنشوطة ($\omega \cdot \Phi_{max}$ العظمى عند 0°).

وضع الابتداء لزاوية الدوران α: عندما تكون الأنشوطة موازية للمجال (بدون تدفق).

## توليد الجهد - التعريف

يحرك الملف الدوار ذو السرعة المحيطية v موصلاته عموديا على المجال المغنطيسي بسرعة $v \cdot \sin \alpha$ وبذلك يتولد جهد متردد جيبي الشكل.




$\alpha$ = زاوية الدوران (تتكرر دوريا كل 360°)

T = زمن الذبذبة بالثانية ≙ دورة واحدة لعضو الإنتاج (360°)

$U_{max}$ = القيمة العظمى للجهد U عند قطع المجال في اتجاه عمودي.

$U_t$ = $U_{max} \cdot \sin \alpha$ = القيمة المتغيرة مع الزمن (منحنى الجيب).

$U_m$ = القيمة المتوسطة للجهد الجيبي المتردد = 0 V.

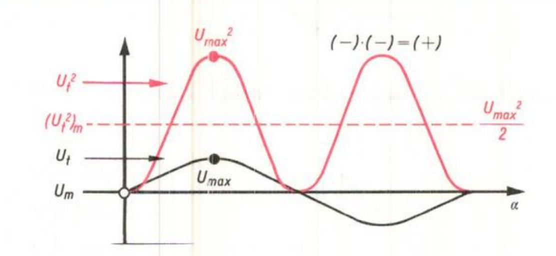
f = التردد بالهيرتز $\frac{1}{T}$ = (Hz = 1/s)

$\omega$ = $2\pi \cdot f$ = التردد الزاوي = السرعة الزاوية.

$\omega U_{max}$ = أكبر قيمة لتغير الجهد مع الزمن عند المرور بالصفر.

في شبكة الإنارة ذات 50 هيرتز يكون: $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \cdot 1/s$

## القيم الفعالة لكل من U و I




تكون القيمة المتوسطة للكمية $U_t^2$ هي العامل المحدد لحساب القدرة $P = U^2 \div R$ بمقاومة ما R. وعلى ذلك تكون القيم المؤثرة (القيم الفعالة) هي:

$$U_{eff} = \sqrt{(U_t)^2{}_m} = \sqrt{\frac{U_{max}^2}{2}} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{1,41}$$

$$I_{eff} = \sqrt{(I_t^2)_m} = \sqrt{\frac{I_{max}^2}{2}} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1,41}$$

| $U = U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$ | $I = I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ |
|---|---|

| ∢α | 0° | 30° | 60° | 90° … | 180° … | 270° … | 360° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sin α | 0 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{7}{8}$ | 1 … | 0 … | −1 … | 0 |
| $U_t$ | 0 | 2 | 3,5 | 4 … | 0 … | −4 … | 0 V |
| $U_t^2$ | 0 | 4 | 12 | 16 … | 0 … | +16 … | 0 $V^2$ |

مثال: $U_t = 4\ \text{Volt} \cdot \sin \alpha$

U = 2,83 V

وغالبا ما تستخدم القيم الفعالة لقياسات التيار المتردد (~). ولحساباته وصيغه الرياضية، يجب الحذر عند إجراء الجمع حيث يجب ملاحظة الاتجاه وزمن بدء الدوران والتردد.

## زاوية الطور φ ومثلث المتجهات

التذبذبات الجيبية ذات التردد الواحد والمزاحة زمنيا بزاوية الطور φ (فاي) تعمل ضد بعضها البعض من وقت إلى آخر. لا يسمح بجمع القيم الفعالة كأعداد وإنما تجمع كمتجهات فقط.

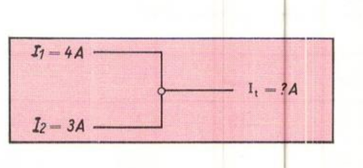
مثال:

تيارات مترددة (~)

50 Hz

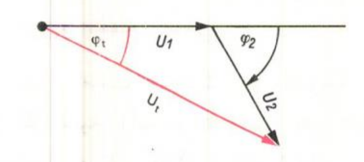
(⊢⊣) يمثل هذا البعد

1 A (أمبير واحد)




**مثلث المتجهات للقيم الفعالة:**

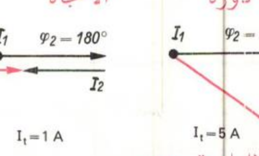
ضع القيم الجزئية خلف بعضها البعض بمقياس رسم مناسب ثم قس المحصلة

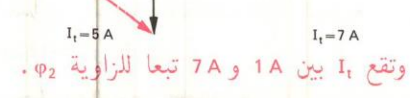



ملاحظة:

تكون $\sphericalangle\varphi_2$ إلى اليسار إذا تقدم المتجه الثاني وتكون $\sphericalangle\varphi_2$ إلى اليمين، إذا تأخر المتجه الثاني. طول المتجه ≙ القيمة الفعالة.




وتقع $I_t$ بين 1A و 7A تبعا للزاوية $\varphi_2$.

## تمرينات

مثال: يتحرّك ملف دوار في مجال مغنطيسي منتظم ($B=0,2T$) بسرعة محيطية 3 m/s، الطول الفعال للموصل: 2 قطب × 50 لفة × الطول تحت سطح القطب وقدره 10 cm.

أ) ما هي القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربائية الحثية؟

ب) ارسم منحنى الجيب من 0° إلى 360°

(قيم الجيب هي: القيمة العظمى مضروبة في: 0–1/2–7/8–1).

الحل: $B=0,2\ T;\ v=3\ m/s;\ l_{eff}=2\cdot 50\cdot 0,10\ m=10\ m$

$E_{max}=B\cdot v\cdot l_{eff}=0,2\ T\cdot 3\ m/s\cdot 10\ m=\underline{6\ V}$

$E_0=0\ V;\ E_{30}=3\ V;\ E_{60}=5,25\ V;\ E_{90}=6\ V$

٣٧ – ١ حل المثال السابق بالمعطيات التالية:

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| عدد الأقطاب | 2 | 2 | 4 | 2 |
| عدد اللفات | 20 | 50 | 35 | 1 |
| الطول تحت القطب | 10 mm | 80 mm | 160 mm | 10 cm |
| كثافة التدفق | 0,1 T | 0,2 T | 0,5 T | 0,05 T |
| السرعة المحيطية | 2 m/s | 2,5 m/s | 15 m/s | 1 m/s |

٣٧ – ٢ احسب القيم الناقصة بالجدول لملف دوار في مجال مغنطيسي منتظم ثنائي الأقطاب:

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| سرعة الدوران (r.p.m.) | 3000 | 1000 | 3600 | 375 |
| التردد (Hz) | ? | ? | ? | ? |
| زمن الدورة (s) | ? | ? | ? | ? |
| التردد الزاوي (1/s) | ? | ? | ? | ? |

الحل للجزء (أ): $n=3000\ r.p.m.$

$f=\frac{n}{60}=50\ Hz;\ T=\frac{1}{f}=\frac{1}{50}\ s;\ \omega=2\pi\cdot f=314\ \frac{1}{s}$

٣٧ – ٣ احسب كميات القياس الناقصة بالجدول:

| | أ | ب | ج | د | ه |
|---|---|---|---|---|---|
| f (Hz) | ? | ? | ? | 150 kHz | 100 MHz |
| T (s) | 0,02 | ? | 5 ms | ? | ? |
| ω (1/s) | ? | 105 | ? | ? | ? |

٣٧ – ٤ احسب القيم الناقصة بالجدول للجهود المترددة الجيبية المعطاة:

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| الجهد الفعال $U_{eff}$ | 220 V | 380 V | 60 V |
| التردد f | 50 Hz | 50 Hz | 400 Hz |
| القيمة المتوسطة $U_m$ | ? | ? | ? |
| القيمة العظمى $U_{max}$ | ? | ? | ? |
| أسرع تغير $\omega U_{max}$ | ? | ? | ? |

٣٧ – ٥ يقاوم عزل مكثف الانهيار حتى 250 V. ما هو الجهد الجيبي المتردد المسموح بالتوصيل عليه؟

٣٧ – ٦ تسحب مقاومة تسخين قدرة مقدارها 1100 W عند تحميلها بتيار مستمر 5 A. ما مقدار القيمة العظمى للتيار الجيبي المتردد الذي يؤثر بنفس القدرة المستهلكة بواسطة هذه المقاومة؟

٣٧ – ٧ تعمل أجهزة تحكّم عن بعد بتردد 800 Hz في شبكة تيار عالية الجهد. إحسب ω.

٣٧ – ٨ عيّن قيم قياس التيار المتردد بالجدول:

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| القيمة الفعالة | 500 V | 20 mA | ? | ? |
| القيمة العظمى | ? | ? | 535 kV | 9 A |

٣٧ – ٩ لسرعة انتشار الموجات الكهربائية المغنطيسية (سرعة الضوء)، يكون $f\cdot\lambda = 300\,000\ km/s$. احسب طول الموجة λ (تنطق لامدا) للترددات التالية:

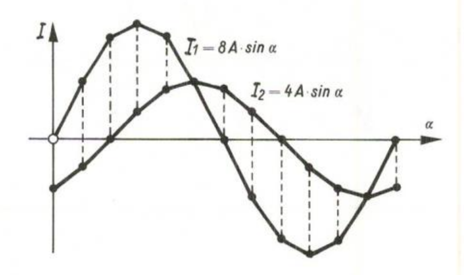
أ) الموجة المتوسطة في الإرسال الإذاعي 600 kHz ب) الموجة المتناهية القصر في الإرسال الإذاعي 100 MHz. ج) الأشعة الضوئية $6\cdot 10^{14}$ Hz د) أشعة رونتجن (السينية) $3\cdot 10^{17}$ Hz.

٣٧ – ١٠ سجّلت صورة المنحنى لجهد جيبي متردد $U_{eff}=60\ V$ على راسم تذبذبات (أوسيلوجراف) (المعايرة: 1 cm ≙ 20 V). ما مقدار الانحراف المبين على الشاشة من النهاية العظمى إلى النهاية العظمى التي تليها؟

٣٧ – ١١ إجمع التيارات الجيبية المترددة التالية:

$I_{eff}=5,65\ A$ و $I_{eff}=2,83\ A$ (متأخرا بمقدار 60°).

أ) ارسم منحنى الجيب مبتدئا عند 0° أو 360° (نقط المنحنى $I_{max}$ مضروبة في 0 و 1/2 و 7/8 و 1) على نفس الرسم لمنحنى العلاقة من 0° إلى 360°.




ب) اجمع قيم الجيب نقطة بنقطة لكل 30° مع ملاحظة إشاراتها.

ج) أضف رسم منحنى الجيب للتيار الكلي من قيم حاصل الجمع.

د) عيّن للتيار الكلي كلا من: القيمة العظمى $I_{max}$ والقيمة الفعالة $I_{eff}$ وزاوية الإزاحة φ.

ه) استبدل هذه الطريقة المعقّدة بطريقة جمع المتجهات للقيم الفعالة تبعا للوحة (٣٧). قارن بين النتائج.

٣٧ – ١٢ اوجد التيار الكلي بالرسم بواسطة متجهات القيم الفعالة للتيارين $I_1=5\ A$ و $I_2=3\ A$ عند زاويا الإزاحة التالية للتيار $I_2$:

أ) 0° ب) 30° ج) 60° د) 90° ه) 180° و) 270°

٣٧ – ١٣ اجمع بالرسم ثلاثة تيارات كلا منها 10 A (تيارات جيبية مترددة لها نفس التردد)

أ) عندما يكون كل منها منحرفا عن الآخر بزاوية 90°

ب) عندما يكون كل منها منحرفا عن الآخر بزاوية 120°.

٣٧ – ١٤ يشتغل مولّدا دراجة من نوع واحد وفي وقت واحد بنفس الإطارات. ويعطي كل منهما $U_0 = 4\ V\sim$. ما هو جهد الدائرة المفتوحة الذي نحصل عليه إذا وصّل كلاهما على التوالي؟ ما هو عدد الحلول المحتملة؟ علل ذلك.

(١) **يغير الجهد المتردد الجيبي اتجاهه وقيمته باستمرار.** ويتغير التيار تبعا لذلك بانتظام. ويجب أن يؤخذ سلوك الملفات والمكثفات في الاعتبار أثناء الوصل والفصل في الدائرة فضلا عن المقاومة R.

| المقاومة الأومية الفعالة R | مقاومة الموصل وكميات أخرى (انظر أسفله) |
|---|---|
| يولد الجهد U التيار I (كما في التيار المستمر) | $\sphericalangle \varphi = 0°$ <br> U و I متزامنان <br> $P = U_{eff} \cdot I_{eff}$ |
| **المفاعلة الحثية $X_L$** | **$X_L = \omega \cdot L$ (الوحدات: $\Omega, \frac{1}{s}, H$)** |
| تولد $\Delta I/t$ الجهد U (تزيد U بزيادة f) | $\sphericalangle \varphi = +90°$ <br> إذا تقدم U تأخر I <br> يتضاد نصف الدورة مع نصفها الآخر |
| **المفاعلة السعوية $X_C$** | **$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ (الوحدات: $\Omega, \frac{1}{s}, F$)** |
| تولد $\Delta U/t$ التيار I (تزداد I بزيادة f) | $\sphericalangle \varphi = -90°$ <br> إذا تقدم I تأخر U <br> يتضاد نصف الدورة مع نصفها الآخر |

### قانون أوم للتيار المتردد:

| | | |
|---|---|---|
| $Z = \frac{U}{I}$ | $U = I \cdot Z$ | $I = \frac{U}{Z}$ |

(٢) **المقاومات الفعالة هي:** مقاومة الموصلات: $R = \varrho \cdot l / A$ والمقاومات المكافئة في الاستخدام الميكانيكي للمغنطيسيات وفقد التيار الدوامي وفقد العكس المغنطيسي وفقد العازل الكهربائي (السحب الإضافي للتيار) وكذلك الفقد نتيجة إزاحة التيار (وهي مقاومة إضافية).

(٣) **تعمل المفاعلتان $X_L$ و $X_C$** لنصف الوقت كمنبع للجهد عندما تمرر تيارا مضادا لاتجاه الجهد. وهي تعيد الطاقة الكهربائية المأخوذة مرتين في الدورة إلى الشبكة.
لا يعطي التيار المفاعل المزاح عن الجهد U بزاوية 90° أية قدرة للحمل ولكنه يسخن خطوط التغذية الموصلة على التوالي.

من أين أتت الصيغ الرياضية لكل من $X_L$ و $X_C$؟ يعطي ملف محاثته L أقصى جهد له $U_{max}$ عند أكبر تغير في التيار. ويعطي مكثف سعته C أكبر تيار له $I_{max}$ عند أكبر تغير للجهد. وبالقسمة على $\sqrt{2}$ والتبديل نحصل على:

(٤) **المعاوقة Z** (المقاومة الكلية للتيار المتردد وتقاس بالأوم) وتضم R و $X_L$ و $X_C$ معا. وإذا وجدت مقاومة منفردة فإن قيمتها الأومية تساوي Z مباشرة.
تجمع المعاوقات في التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي بطرق مختلفة. قارن هذا باللوحتين التاليتين (٣٩ و ٤٠).

(٥) يمكن تصور **الملفات ذات مقاومة الموصل والمقاومة الحثية** كتوصيل على التوالي مكون من R و $X_L$ لأننا نجد بالقياس أن $Z = U \div I$ أكبر من $R = U \div I$ (لتأثير الحديد انظر اللوحة (٣٩) والدائرة المكافئة للتوصيل على التوالي انظر اللوحة ٤٠). تؤدي التغيرات في دائرة الملف المغنطيسية إلى تغير استهلاك التيار المتردد.

$$L = \frac{U}{\Delta I/t} = \frac{U_{max}}{\omega\, I_{max}} = \frac{U}{\omega I} \rightarrow \frac{U}{I} = \omega L$$

$$C = \frac{I}{\Delta U/t} = \frac{I_{max}}{\omega\, U_{max}} = \frac{I}{\omega U} \rightarrow \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C}$$

تمرينات

## المقاومة الفعالة

تطبق عليها قوانين التيار المستمر .

**ملاحظة :** تختلف المقاومة للتيار المستمر عن المقاومة الفعالة للتيار المتردد في المقدار في حالة الملفات ذات القلب الحديدي المقفل وعند وجود التيارات الدوامية أو نتيجة لتغير التيار .

## المفاعلة الحثية $X_L$.

(ملف ذو مقاومة فعالة صغيرة يمكن إهمالها)

٣٨ – ١ احسب المفاعلة $X_L$ بالأوم لملف ذي محاثة قدرها 0,3 H للترددات الآتية :

أ) 5 Hz ب) 50 Hz ج) 800 Hz د) 10 kHz هـ) 50 kHz

طريقة الحل : $X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$

٣٨ – ٢ ما مقدار مفاعلة ملف محاثته 2,5 H لترددات الشبكة التالية :

أ) 50 Hz ب) $16\frac{2}{3}$ Hz ج) 60 Hz د) 400 Hz هـ) 1,5 kHz

٣٨ – ٣ تعتمد مفاعلة الملف على المحاثة وعلى تردد الشبكة . احسب القيم الناقصة بالجدول :

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| المحاثة | 2 H | 14 mH | ? | 0,5 H |
| تردد الشبكة | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz | ? |
| التردد الزاوي | ? | ? | ? | 5000/s |
| المفاعلة | ? | ? | 100 Ω | ? |

٣٨ – ٤ ملف ذو قلب حديدي مقفل منها $A = 1600\ mm^2$ $A = 1500\ mm^2$ صاج محولات (للاطلاع على المنحنى الخصائصي بين B و H انظر اللوحة ٣٢) . والطول المتوسط للقلب 500 mm وعدد لفاته هو 500 لفة .

احسب المحاثة L ومفاعلتها $X_L$ للتردد 50 Hz في الحالات التالية :

أ) عند تيار تحميل قدره 0,2 A.

ب) عند تيار تحميل قدره 1 A.

ج) عند تيار تحميل قدره 2,2A ما هي النتيجة المستفادة؟

الحل للجزء أ) : $X_L = ?\ \Omega;\ L = ?\ H;\ I = 0,2\ A;$

$A = 1500\ mm^2;\ l = 500 mm;\ N = 500;\ \omega = 314/s$

$X_L = \omega \cdot L = 314/s \cdot 2,25\ H = 707\ \Omega$

$L = N^2 \cdot \Lambda = 500^2 \cdot 9 \cdot 10^{-6}\ H = 2,25\ H$

$\Lambda = \mu \cdot A/l = 3 \cdot 1500/500\ \mu H = 9\ \mu H$

$\mu = B \div H = 0,6\ T \div 0,2\ A/mm = 3\ \mu H/mm$

قيمة B المناظرة لقيمة H هي 0,6 T (من المنحنى الخصائصي ①)

$H = I \cdot N/l = 0,2 \cdot 500/500\ A/mm = 0,2\ A/mm$

٣٨ – ٥ إذا احتوى الملف نفسه على ثغرتين هوائيتين مقدار كل منهما 5 mm (يستخدم المقطع الكامل $1600\ mm^2$ ويهمل المجال المغنطيسي في الحديد) . أ) احسب المحاثة والمفاعلة . ب) هل تعتمد المفاعلة الحثية $X_L$ هنا على التيار أيضا؟

٣٨ – ٦ ملف مغنطيسي ذو ثغرة هوائية محاثته قدرها 100 mH . ما هو التيار الذي يسحبه إذا وُصل بجهد جيبي متردد قدره 220 V/50 Hz . (يجب إهمال المقاومة الفعالة (R) .

٣٨ – ٧ يسمح بتحميل ملف محاثته 0,25 H (R صغيرة جدا) بتيار 1,2 A . ما هو الجهد المتردد المسموح بتوصيله في الحالات التالية : أ) عند 50 Hz ب) عند 1 kHz ج) $16\frac{2}{3}$ Hz؟

٣٨ – ٨ وصلت فتيلة تسخين ذات مقاومة $R = 55\ \Omega$ ($X_L$ صغيرة جدا) وملف مغنطيسي مفاعلته الحثية $X_L = 29,3\ \Omega$ (R صغيرة جدا) على التوازي كحمل بجهد متردد 220 V (انظر الشكل) .

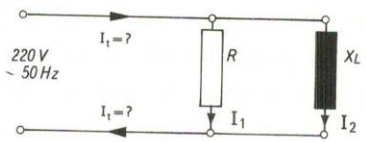
أ) احسب التيار I المار في المقاومة R . ما مقدار زاوية الإزاحة الطورية بين الجهد U والتيار $I_1$؟

ب) احسب التيار $I_2$ المار في المفاعلة الحثية $X_L$ وما هو مقدار زاوية الإزاحة الطورية بين الجهد U والتيار $I_2$؟

ج) ما هي شدة التيار الكلية التي يحمل بها خط التغذية المشترك؟

إجمع بالرسم متجهات القيم الفعالة .

د) دقق النتيجة حسابيا بواسطة نظرية فيثاغوراس .




## المفاعلة السعوية $X_C$

مثال :

احسب المفاعلة السعوية $X_C$ لمكثف سعته 0,5 μF وتردد شبكة قدره 5 kHz .

الحل : $C = 0,5\ \mu F = \frac{0,5}{10^6} F;\ \omega = 2\pi \cdot f = 31400\ \frac{1}{s}$

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1\ \Omega}{31400 \cdot 0,5/10^6} = \frac{1\ 000\ 000\ \Omega}{31400 \cdot 0,5} = 63,8\ \Omega$

٣٨ – ٩ احسب المفاعلة السعوية $X_C$ لنفس المكثف السابق وترددات الشبكة التالية : أ) 50 Hz ب) 800 Hz

ج) 20 kHz د) 0,1 MHz هـ) 0,6 MHz و) 5 MHz

٣٨ – ١٠ احسب القيم الناقصة بالجدول :

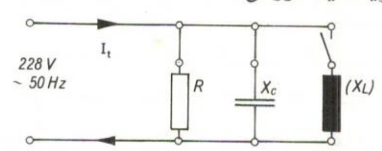
| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| السعة C | 10 μF | 600 pF | 1 μF | ? |
| تردد المنبع f | 50 Hz | 100 kHz | ? | 50 Hz |
| التردد الزاوي ω | ? | ? | ? | ? |
| المفاعلة السعوية $X_C$ | ? | ? | 9,5 kΩ | 100 Ω |

٣٨ – ١١ اوجد قيمة التيار المتردد الذي تمرره المكثفات التالية عند 220 V/50 Hz~ :

أ) 100 μF ب) 8 μF ج) 0,1 μF د) 300 nF

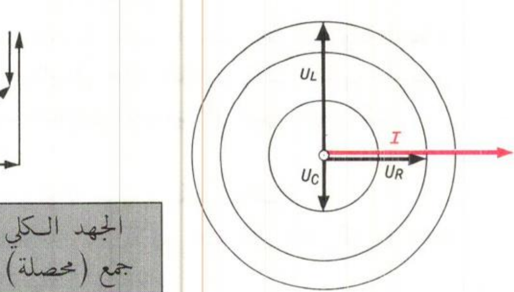
هـ) 5 nF و) 60 pF .

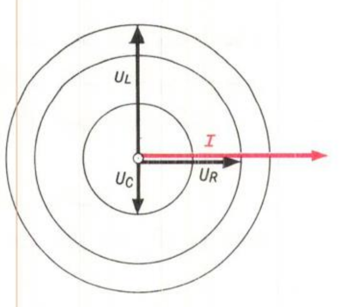
٣٨ – ١٢ إذا وصلت المقاومة الفعالة $R = 76\ \Omega$ ومكثف مفاعلته السعوية $X_C = 57\ \Omega$ على التوازي كحمل على 228 V/50 Hz~ ، ما مقدار كل من : أ) التيار $I_1$ المار خلال المقاومة R . ب) التيار $I_2$ المار خلال المفاعلة السعوية $X_C$ . ج) اجمع المتجهين للحصول على التيار الكلي $I_t$ . د) دقق ذلك حسابيا بواسطة نظرية فيثاغوراس .

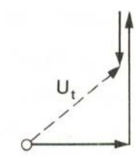



٣٨ – ١٣ في المسألة السابقة إذا ما وصلت المفاعلة الحثية $X_L = 57\ \Omega$ بالإضافة إلى المقاومة R والمفاعلة السعوية $X_C$ (انظر الرسم السابق) . ارسم المتجه المحصل $I_R$ للتيارات الجزئية (الفرعية) الثلاثة .

## الرسم التخطيطي للدائرة ومخطط المتجهات



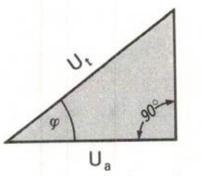




الجهد الكلي كحاصل جمع (محصلة) المتجهات

(١) تسري نفس كمية التيار I في جميع أجزاء دائرة التوالي . وتتوزع الجهود على المعاوقات تبعا للقيمة والعلاقة الطورية أما بالنسبة للتيار I فيجب أن يكون الجهد بين طرفي المفاعلة الحثية $X_L$ متقدما عليه ، والجهد بين طرفي المفاعلة السعوية $X_C$ متأخرا عنه .

(٢) بوضع متجهات الجهد متصلة ببعضها ينتج مثلث الجهد
الجهود مقسومة على التيار I ← تعطي مثلث المقاومة
الجهود مضروبة في التيار I ← تعطي مثلث القدرة
وبالتناسب الطردي للأضلاع تعطي جميع المثلثات نفس الزاوية $\sphericalangle\varphi$ (بين $U_t$ و I) .

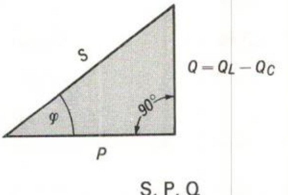
## مثلثات الجهد والمقاومة والقدرة




$U_t^2 = U_a^2+U_r^2$



$Z^2 = R^2+X^2$




S, P, Q

(أنظر اللوحة ٤١)

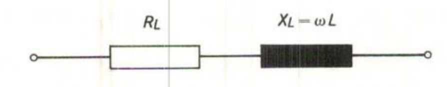
$$\sin\varphi = \frac{U_r}{U_t} = \frac{X}{Z} = \frac{Q}{S}$$
$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U_t} = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S}$$
$$\tan\varphi = \frac{U_r}{U_a} = \frac{X}{R} = \frac{Q}{P}$$

| | |
|---|---|
| الجهد المفاعل : $U_r$ | $U_r = U_t\cdot\sin\varphi$ |
| الجهد الفعَّال : $U_a$ | $U_a = U_t\cdot\cos\varphi$ |
| التيار $I = \frac{U_t}{Z}$ حيث Z : | $Z = \sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$ |

## معاوقة التيار المتردد (~) في الملفات

يكون للملفات ذات القلوب الهوائية مقاومة توصيل R ومُحاثَّة L حيث : $L = N^2\cdot\Lambda$ .

تعتمد معاوقة التيار المتردد Z على التردد وهي أكبر من المقاومة R ويبينها التوصيل على التوالي :

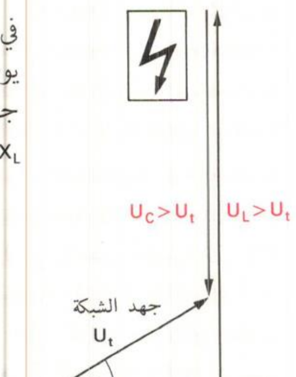



عند التوصيل على الجهد المستمر : $R_L=U\div I=\varrho_{20}\cdot l\div A$

عند التوصيل على الجهد المتردد : $Z_L=U\div I=\sqrt{R_L^2+X_L^2}$

يتغير كل من μ و Λ و L في القلوب الحديدية المقفلة عند التحميل ، أي تتغير المفاعلة الحثية $X_L$ أيضا تبعا للمنحنى الخصائصي B و H الخاص بها . ويتطلب ارتفاع درجة حرارة القلب تيارا فعالا إضافيا (مقاومة على التوازي) . وتعتمد معاوقة الملف $Z_L$ على التيار . ويعالج هذا الأمر عن طريق الثغرة الهوائية .

## رنين التوالي




في التوصيل على التوالي يمكن أن يوجد على الملفات والمكثفات جهد شديد الارتفاع إذا كانت $X_C\approx X_L$ والمقاومة R صغيرة نسبيا .

تنشأ بين الملف والمكثف دائرة تذبذب يكون فيها جهد المكثف $U_C$ مزاحا بمقدار 180° عن الجهد الحثي $U_L$ .

ملاحظات :

(١) تنطبق قواعد التوصيل للتيار المستمر على دوائر التيار المتردد أيضا على أن تراعى الفروق التالية البالغة الأهمية :

(٢) لا تجمع القيم الفعالة (والمستنتج منها قيم المعاوقة والقدرة) كأعداد وإنما كمتجهات .

(٣) يسمح بالآتي :
الجمع العددي عندما تكون المتجهات في اتجاه واحد والطرح العددي عندما تكون الاتجاهات متضادة والحساب بواسطة نظرية فيثاغورس عندما تكون الزاوية $\varphi=90°$ .

(٤) انتبه إلى وحدات القدرة :
القدرة الفعالة P (W = واط) . أنظر اللوحة (٤١) .
والقدرة المفاعلة Q (VA=var مفاعل = واط مفاعل)
القدرة الظاهرية S (VA = ڤولط أمبير) .

**توصيل المقاومة R والمفاعلة الحثية $X_L$ على التوالي :**

مثال : بالتوصيل على التوالي في التيار المتردد يمر نفس التيار $I_{eff}=2\ A$ وتتكون دائرة التوصيل على التوالي من مقاومة فعالة R (أعطى قياس الجهد $U_{eff}=40\ V$) ، ومن مفاعلة حثية $X_L$ (أعطى قياس الجهد $U_{eff}=30\ V$) .
احسب جميع قيم الدائرة .

الحل : $I=2\ A;\ U_R=40\ V\ (\varphi_R=0°); U_L=30\ V\ (\varphi_L=90°)$

$U_t=\sqrt{U_R^2+U_L^2}=\sqrt{(40\ V)^2+(30\ V)^2}=50\ V$

$R=U_R\div I=40\ V\div 2\ A=20\ \Omega$

$X_L=U_L\div I=30\ V\div 2\ A=15\ \Omega$

$Z=\sqrt{R^2+X_L^2}=\sqrt{(20\ \Omega)^2+(15\ \Omega)^2}=25\ \Omega$

$P=U_R\cdot I=40\ V\cdot 2\ A=80\ W$

$Q_L=U_L\cdot I=30\ V\cdot 2\ A=60\ var$

$S=\sqrt{P^2+Q_L^2}=\sqrt{(80\ W)^2+(60\ var)^2}=100\ VA$

البرهان : (إذا طبقت الصيغ الرياضية مباشرة فإنه يلزم حساب جذر واحد فقط كما يلي) :

$Z=U_t\div I=50\ V\div 2\ A=25\ \Omega$

$S=U_t\cdot I=50\ V\cdot 2\ A=100\ VA$

$\cos\varphi=\frac{U_R}{U_t}=\frac{40}{50}=\frac{R}{Z}=\frac{20}{25}=\frac{P}{S}=\frac{80}{100}=0{,}8$

قيمة الزاوية $\sphericalangle\varphi$ (الواقعة بين التيار I والجهد $U_t$) = 37°

| (على التوالي) | Z(Ω) | U(V) | I(A) | S(VA) | ∢φ |
|---|---|---|---|---|---|
| R | 20 | 40 | 2 | 80 | 0° |
| $X_L$ | 15 | 30 | 2 | 60 | 90° |
| الناتج | 25 | 50 | 2 | 100 | 37° |

ملاحظة : يسمح الحل في شكل جدول بتوفير الوقت وبنظرة شاملة وتحقق من الحسابات طبقا لطريقة الكلمات المتقاطعة (احسب أفقيا : $S=U\cdot I$ و $Z=\frac{U}{I}$ واحسب رأسيا في مثلث المتجهات عند زاوية $\varphi=90°$ باستعمال نظرية فيثاغورس) .

تمرينات :

٣٩ – ١ دوّن قيم القياس للدائرة التالية في جدول مناظر للمثال السابق .

R — $X_L$ — A
$U_R=195\ V$ — $U_L=104\ V$ — $I=1{,}3\ A$

٣٩ – ٢ ما مقدار المعاوقة Z للفيفة ملف ذات مقاومة فعالة $R=60\ \Omega$ ومفاعلة حثية $X_L=80\ \Omega$ حل بالحساب والرسم .

٣٩ – ٣ ملف بدون قلب معاوقته الفعالة قدرها 90 Ω ومعاوقته الظاهرية $Z=150\ \Omega$ وصّل بجهد متردد قدره 220 V/50 Hz.
احسب :
أ ) المفاعلة الحثية $X_L$ بالأوم (Ω)
ب) المحاثة L بالهنري (H)
ج) ارسم مثلث المعاوقة (1 mm ≙ 2 Ω)

٣٩ – ٤ وصّل ملف ذو قلب هوائي بجهد مستمر قدره 6 V فسحب تيارا قدره 0,5 A ثم وصّل بجهد متردد قدره 24 V/50 Hz فسحب تيارا قدره 1,6 A.
احسب : أ) R ب) Z ج) $X_L$ د) L

٣٩ – ٥ إذا وصل ملف (مكون من مقاومة $R=150\ \Omega$ ومحاثة $L=0{,}3\ H$ موصلتين على التوالي) بجهد متردد قدره 220 V/50 Hz .
احسب القيم : أ) $X_L$ ب) Z ج) I د) معامل القدرة (cos φ) هـ) معامل المفاعلة (sin φ)

٣٩ – ٦ وصّل ملف ذو قلب هوائي (مقاومته $R=80\ \Omega$ ومحاثته $L=191\ mH$) بجهد قدره 220 V. احسب تبعا للتردد :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| f (Hz) | 50 Hz | $16\frac{2}{3}$ Hz | 60 Hz | 800 Hz | 1,5 kHz |
| ω (1/s) | ? | ? | ? | ? | ? |
| $X_L$ (Ω) | ? | ? | ? | ? | ? |
| Z (Ω) | ? | ? | ? | ? | ? |
| I (A) | ? | ? | ? | ? | ? |
| cos φ | ? | ? | ? | ? | ? |
| sin φ | ? | ? | ? | ? | ? |

٣٩ – ٧ يسحب ملف بدون قلب حديدي تيارا قدره 2 A سواء عند التوصيل بجهد مستمر قدره 20 V أو بجهد متردد قدره 90 V/50 Hz ما مقدار محاثته L؟

٣٩ – ٨ وصّل ملفان متشابهان على التوالي وبيانات كل منهما هي : المفاعلة الحثية $X_L=20\ \Omega$ والمقاومة $R=10\ \Omega$ .
احسب : أ) $R_t$ ب) $X_t$ ج) $Z_t$ .

٣٩ – ٩ وصلت المقاومتان الفعالتان : $R_1=10\ \Omega$ و $R_2=12\ \Omega$ مع الملفين : $X_1=30\ \Omega$ و $X_2=15\ \Omega$. على التوالي بجهد متردد قدره 220 V (~). احسب المعاوقة الكلية $Z_t$ والتيار I.

**التوصيل على التوالي مع المفاعلة السعوية $X_C$:**

٣٩ – ١٠ دوّن قيم القياس للدائرة المبينة في جدول . انظر المثال المحلول السابق .

100 Ω — 20 μF
220 V/50 Hz

دوّن في جدول جميع قيم القياس للدوائر التالية المتصلة على التوالي بجهد متردد قدره 220 V/50 Hz في المسائل التالية :

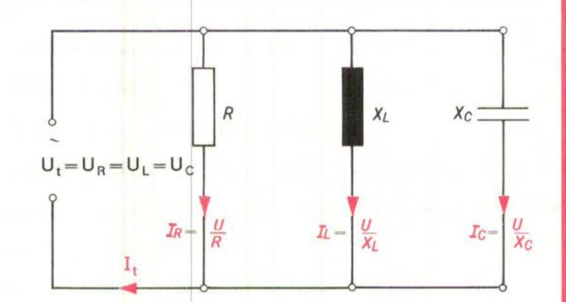
٣٩ – ١١ تتكون الدائرة من مقاومة $R=44\ \Omega$ ومفاعلة حثية $X_L=55\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=22\ \Omega$ .

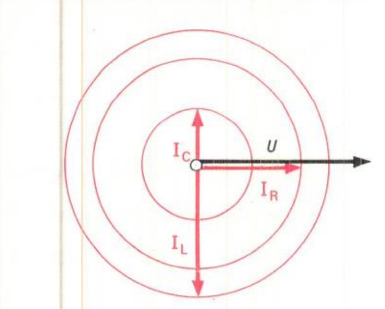
٣٩ – ١٢ تتكون الدائرة من مقاومة $R=100\ \Omega$ ومحاثة $L=800\ mH$ ومكثف سعته $C=25\ \mu F$ .

٣٩ – ١٣ تتكون الدائرة من مقاومة $R=40\ \Omega$ ومحاثة $L=500\ mH$ ومكثف سعته $C=20\ \mu F$ .
(تطرح قيم المفاعلات ويحدث الرنين عند : $X_L\approx X_C$)

٣٩ – ١٤ ملف محاثته $L=4\ H$ ومكثف سعته $C=25\ \mu F$ . عين تردد الرنين أي ذلك التردد الذي يكون عنده $\omega L=\frac{1}{\omega C}$ .

## الرسم التخطيطي للدائرة ومخطط المتجهات



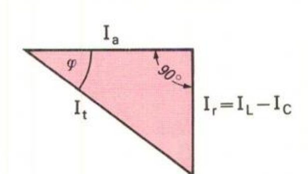




التيار الكلي = محصلة المتجهات

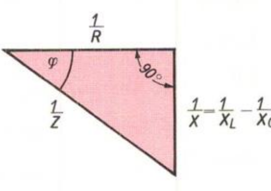
(١) في التوصيل على التوازي تكون جميع المعاوقات متصلة على نفس الجهد.
تتوزع التيارات في المعاوقات تبعا لقيمها وللوضع الطوري بينها. وبالنسبة للجهد يجب أن يكون التيار متأخرا عنه في المفاعلة الحثية $X_L$ ومتقدما عليه في المفاعلة السعوية $X_C$.

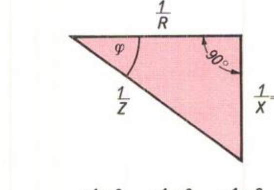
(٢) ينتج وضع متجهات التيار متصلة ببعضها البعض مثلث التيار.
شدة التيارات مقسومة على U تعطي مثلث المواصلة
شدة التيارات مضروبة في U تعطي مثلث القدرة
عندما تكون الأضلاع متناسبة طرديا تكون لجميع المثلثات نفس الزاوية $\varphi$ (بين U و $I_t$).

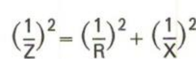
## مثلثات التيار والقدرة ومقلوب المقاومة



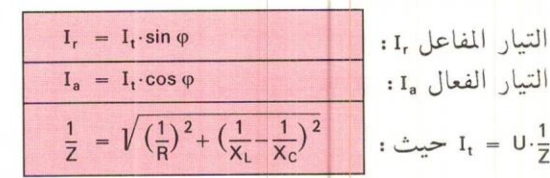

$I_t^2 = I_a^2 + I_r^2$





$\left(\frac{1}{Z}\right)^2 = \left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X}\right)^2$



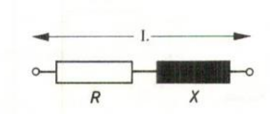

S, P, Q (أنظر اللوحة ٤١)

$$\sin\varphi = \frac{I_r}{I_t} = \frac{Z}{X} = \frac{Q}{S}$$
$$\cos\varphi = \frac{I_a}{I_t} = \frac{Z}{R} = \frac{P}{S}$$
$$\tan\varphi = \frac{I_r}{I_a} = \frac{R}{X} = \frac{Q}{P}$$

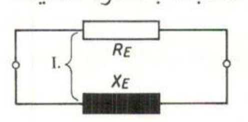
| | |
|---|---|
| التيار المفاعل: $I_r$ | $I_r = I_t \cdot \sin\varphi$ |
| التيار الفعال: $I_a$ | $I_a = I_t \cdot \cos\varphi$ |
| حيث: $I_t = U \cdot \frac{1}{Z}$ | $\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$ |

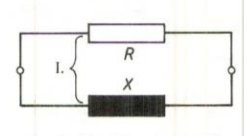
## التوصيلات المركبة (المختلطة)

يمكن استبدال توصيلات التيار المتردد على التوالي بتوصيلات تيار متردد على التوازي (لها نفس قيمة Z و $\varphi$) وبالعكس. وهكذا يمكن حل التوصيلات المركبة (المختلطة) على خطوات كالآتي:




يمكن استبدال الدائرة السابقة بالدائرة التالية:




يمكن استبدال الدائرة السابقة بالدائرة التالية:



تطبق الصيغ التالية في كلتا الحالتين:

| | |
|---|---|
| $R_E = Z_I^2 \div R$<br>$X_E = Z_I^2 \div X$ | تستنتج $Z_I^2$ من الدائرة الأولى |

## رنين التوازي

يمكن في التوصيلات على التوازي أن تسحب الملفات والمكثفات تيارا كبيرا، إذا كانت $X_C \approx X_L$ والمقاومة R على التوازي كبيرة (أي $I_R$ صغيرة).




تنشأ بين الملف والمكثف دائرة رنين يكون فيها $I_C$ مزاحا بمقدار 180° عن $I_L$.

يصلح استعمال الصيغة الرياضية لضرب وجمع مقاومتين على التوازي (انظر اللوحة ٢٧ (٤)) وأيضا في حالة التيار المتردد ~ ، إذا تم الجمع طبقا لنظرية فيثاغورس.

### توصيلات R و $X_L$ على التوازي

مثال:

إذا وصّلت على جهد ~ $U_{eff}=60\ V$ المقاومة الفعالة $R=20\ \Omega$، المفاعلة الحثية $X_L=15\ \Omega$ على التوازي. احسب جميع قيم الدائرة. يعمل الحل على هيئة جدول:

| على التوازي | Z(Ω) | U(V) | I(A) | S(VA) | ∢φ |
|---|---|---|---|---|---|
| R | 20 | 60 | 3 | 180 | 0° |
| $X_L$ | 15 | 60 | 4 | 240 | 90° |
| الناتج | 12 | 60 | 5 | 300 | 53° |

احسب أفقيا كلاً من: $S=U\cdot I$ ، $I=\frac{Z}{U}$

احسب رأسيا بمثلثات المتجهات كما يلي:

$$I_t = \sqrt{I_R^2+I_L^2} = \sqrt{(3\ A)^2+(4\ A)^2} = 5\ A$$

$$Z = \frac{R\cdot X_L}{\sqrt{R^2+X_L^2}} = \frac{20\ \Omega\cdot 15\ \Omega}{\sqrt{(20\Omega)^2+(15\Omega)^2}} = 12\ \Omega$$

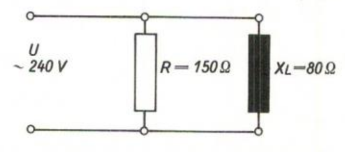
$$S = \sqrt{P^2+Q_L^2} = \sqrt{(180\ W)^2+(240\ var)^2} = 300\ VA$$

$$\cos\varphi = \frac{I_R}{I_t} = \frac{Z}{R} = \frac{P}{S} = 0{,}6;\ \sphericalangle\varphi = 53°$$

لاحظ مقلوب القيم للمقاومات عند حساب Z و cos φ.

تمرينات:

٤٠ – ١ المطلوب عمل جدول للدائرة التالية بجميع قيم القياس (أنظر المثال أعلاه).




٤٠ – ٢ إذا وصّل ملف مغنطيسي ذو L = 0,6 H ومقاومة فعالة صغيرة يمكن إهمالها على التوازي مع فتيلة تسخين ذات R = 220 Ω وعلى جهد متردد 220 V/50 Hz. احسب التيار الكلي في خط التغذية:

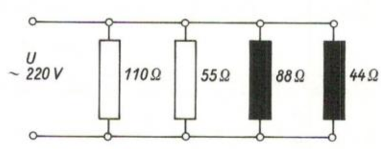
أ) بواسطة رسم مثلث التيار.

ب) عن طريق جمع متجهات التيارات طبقا لنظرية فيثاغورس.

ج) طبقا لقانون أوم بواسطة المعاوقة الكلية Z المحسوبة سابقا.

يجب أن تؤدي جميع الحلول إلى نفس النتيجة.

٤٠ – ٣ احسب التيار المسحوب والمعاوقة الكلية للدائرة التالية:

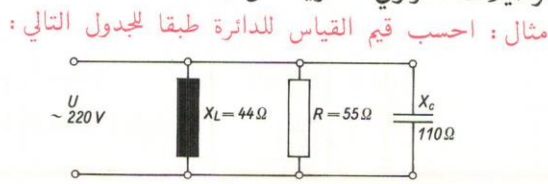



٤٠ – ٤ احسب المعاوقة الكلية Z للتوصيل على التوازي المكون من المقاومات التالية $X_L=50\ \Omega,\ R_1=100\ \Omega,\ R_2=150\ \Omega$

(إرشاد للحل: احسب أولا $R_t$ ثم $Z_t$)

### توصيلات التوازي المحتوية على $X_C$:

مثال: احسب قيم القياس للدائرة طبقا للجدول التالي:




الحل: (انظر أسفل الجدول لحل المعاوقات على التوازي)

| على التوازي | Z(Ω) | U(V) | I(A) | S(VA) | ∢φ |
|---|---|---|---|---|---|
| $X_L$ | 44 | 220 | 5 | 1100 | +90° |
| $X_C$ | 110 | 220 | 2 | 440 | −90° |
| X | 73 | 220 | 3 | 660 | +90° |
| R | 55 | 220 | 4 | 880 | 0° |
| الناتج | 44 | 220 | 5 | 1100 | 37° |

$$X = \frac{X_C\cdot X_L}{X_C-X_L} = \frac{110\ \Omega\cdot 44\ \Omega}{110\ \Omega-44\ \Omega} = 73\ \Omega$$

$$Z = \frac{X\cdot R}{\sqrt{X^2+R^2}} = \frac{73\ \Omega\cdot 55\ \Omega}{\sqrt{(73\ \Omega)^2+(55\ \Omega)^2}} = 44\ \Omega$$

دوّن قيم القياس في جدول عند التوصيل على 220 V/50 Hz لاتصال التوازي التالي:

٤٠ – ٥ تتكون الدائرة من مقاومة $R=100\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=100\ \Omega$.

٤٠ – ٦ تتكون الدائرة من مفاعلة حثية $X_L=50\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=55\ \Omega$.

٤٠ – ٧ تتكون الدائرة من مقاومتين $R_1=200\ \Omega,\ R_2=50\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=100\ \Omega$.

٤٠ – ٨ تتكون الدائرة من مقاومة $R=80\ \Omega$ ومفاعلة حثية $X_L=100\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=150\ \Omega$.

٤٠ – ٩ تتكون الدائرة من مقاومة $R=55\ \Omega$ ومفاعلة حثية $X_L=40\ \Omega$ ومفاعلة سعوية $X_C=40\ \Omega$.

٤٠ – ١٠ عند أي تردد يكون الملف L=80 mH والمكثف C=2 µF في دائرة تذبذب علما بأن Z = صفرا في التوصيل على التوالي أو Z = ∞ في التوصيل على التوازي؟

### التوصيلات المركبة (المختلطة):

مثال: (للتوصيل على التوالي المكافئ): احسب مايلي للدائرة التالية الموصلة على 220 V أ) المعاوقة Z ب) التيار I ج) التيارين الجزئيين.

الحل:

5,6 Ω R1 — 20 Ω R2 — X2 15 Ω

R1 — RE — XE

$$R_E = \frac{Z_2^2}{R_2} = \frac{12^2}{20} = 7{,}2\ \Omega$$

$$Z_2 = \frac{20\cdot 15}{\sqrt{20^2+15^2}} = 12\ \Omega \qquad X_E = \frac{Z_2^2}{X_2} = \frac{12^2}{15} = 9{,}6\ \Omega$$

أ) $Z_t = \sqrt{(R_1+R_E)^2+X_E^2} = \sqrt{(12{,}8\ \Omega)^2+(9{,}6\ \Omega)^2} = 16\ \Omega$

ب) $I_t = U_t \div Z_t = 220\ V \div 16\ \Omega = 13{,}7\ A$

ج) $U_2 = I_t\cdot Z_2 = 13{,}7\ A\cdot 12\ \Omega = 164\ V$

$I_{R2} = U_2 \div R_2 = 8{,}2\ A;\ I_{X2} = U_2 \div X_2 = 10{,}9\ A$

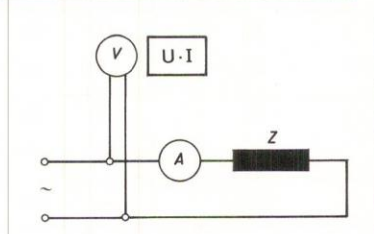
٤٠ – ١١ إذا وصّل سلك مقاومته $R=5{,}83\ \Omega$ على التوالي مع التوصيل على التوازي المكون من $R=30\ \Omega$ و $X_L=16\ \Omega$. احسب للجهد المتردد $U_t \div 220\ V$ كلا من:

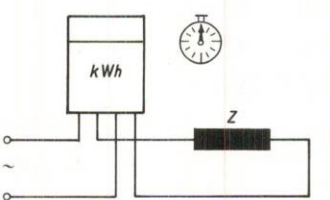
أ) $Z_t$ ب) $I_t$ ج) التيارات الجزئية.

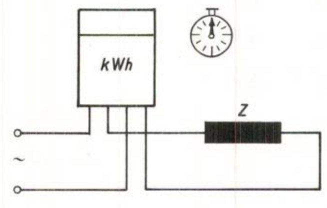
٤٠ – ١٢ إذا وصّل المكثف $X_C=43{,}3\ \Omega$ على التوازي مع ملف $X_L=15\ \Omega$ (ومقاومته $R=10\ \Omega$ موصلة على التوالي) على تيار متردد جهده $U=220\ V$.

احسب: أ) $Z_t$ ب) $I_t$ ج) التيارات الجزئية.

## أنواع القدرة للتيار المتردد S و P و Q .



يتوقف تسخين الموصل على التيار الفعال $I_{eff}$ بغض النظر عن العلاقة الطورية . ويكون إنتقاء الموصل والمصهر طبقا للقدرة الظاهرية الموصلة وهي :

$$S = U \cdot I \text{ (VA)}$$

المصهر ▭ لأجل $I = \frac{S}{U}$ (A)

القدرة الفعالة هي القيمة المستفادة المؤثرة التي يمكن تحويلها إلى طاقة أخرى كما يمكن قياسها بواسطة واطمتر أو عداد ويدفع المقابل لزمن استهلاكها وهي :

$$P = \frac{n \cdot 60 \cdot 1000}{C_c} \text{ (W)}$$

$$W = P \cdot t \text{ (kWh = kW·h)}$$

يمكن نقل القدرة المفاعلة ولكن لا يستفاد منها بل تتراوح دون فائدة بين الحمل ومنبع الجهد . ويلزم معادلتها وهي :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (var)}$$

$$C = \frac{Q}{\omega \cdot U^2} 10^6 \text{ (µF)}$$

## نظرة عامة وتعاريف

| | | |
|---|---|---|
| القدرة الظاهرية (S) | $S = U \cdot I$ (ڤولط أمبير =VA) | لها أهمية لتصميم أبعاد الموصلات إذ إن U و I موجودتان فعلا في الموصل . |
| القدرة الفعالة (P) | $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ (واط = W) | تتحول القدرة المستهلكة بواسطة الحمل إلى حرارة مفقودة أو حرارة مستفادة أو ضوء أو قوة . |
| القدرة المفاعلة (Q) | $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ (مفاعل var = VA) | هي الجزء غير المؤثر من القدرة والذي تعيده المفاعلات إلى الشبكة ثانية . |
| مثلثات القدرة للقدرات S و P و Q | $S^2 = P^2 + Q^2$ (مثلث قائم الزاوية) | تنطبق الصيغ التالية على جميع التوصيلات : $\cos\varphi = \frac{P}{S}$; $\sin\varphi = \frac{Q}{S}$; $\tan\varphi = \frac{Q}{P}$ |
| معامل القدرة $\cos\varphi$ | معامل القدرة $\cos\varphi = \frac{\text{القدرة الفعالة}}{\text{القيمة الكلية للقدرة}}$ | للتوصيل على التوالي : $\frac{R}{Z} = \frac{U_a}{U_t} = \frac{P}{S}$<br>وللتوصيل على التوازي : $\frac{Z}{R} = \frac{I_a}{I_t} = \frac{P}{S}$ |

## معادلة القدرة المفاعلة :

١ - **القدرة الكلية** $U_{eff} \cdot I_{eff}$ ويستهلكها الحمل فقط إذا ما سرى التيار دائما في اتجاه الجهد ، كما في أجهزة التسخين والمصابيح المتوهجة على سبيل المثال . على ذلك تكون زاوية $\varphi = 0°$ وبالتالي $\cos\varphi = 1$ . ويبين معامل القدرة $\cos\varphi$ الجزء المؤثر المأخوذ ويقل عند وجود تبادل للقدرة المفاعلة .

٢ - **القدرة المفاعلة للملف** والتي لا يمكن تفاديها بل يمكن معادلتها بواسطة القدرة المفاعلة لمكثف موصل على التوالي أو على التوازي .

وتزيد المكثفات الموصلة على التوازي التيار في خط التغذية في حين تخفضه المكثفات الموصلة على التوالي . وعند توصيل مكثف على التوازي يحمّل التيار المفاعل $(I \cdot \sin\varphi)$ على خط التوصيل بين الملف والمكثف فقط في دائرة التذبذب .

٣ - **القدرة المفاعلة الموصلة** يمكن تعيينها بواسطة الصيغة $S = U \cdot I$. وتقاس القدرة الفعالة P من العداد :

أ ) بواسطة مثلث القدرة . (تؤخذ S بواسطة الفرجار)

ب) تبعا لنظرية فيثاغوراس : $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

ج) بواسطة الزاوية $\measuredangle\varphi$ ($\frac{P}{S} = \cos\varphi$) ، ومنها تستنتج $\measuredangle\varphi$ وكذلك $Q = S \cdot \sin\varphi$) .

٤ - **قبل التوصيل الفعلي** يمكن حساب كل من Q وقيمة مكثف التعادل .

قدرة التحميل المفاعل : $Q_L = \frac{U_L^2}{X_L} = \frac{U_L^2}{\omega L}$

قدرة المعادلة : $Q_C = \frac{U_C^2}{X_C} = U_C^2 \cdot \omega C$

سعة المكثف (بالفاراد) : $C = \frac{Q_C}{\omega \cdot U_C^2}$

ملاحظات :

(١) يمكن حل المسائل التالية بالحساب أو برسم المثلثات : توقع القدرة الفعالة أفقيا والقدرة المفاعلة رأسيا . وتحدد القدرة الظاهرية (المقابلة للزاوية القائمة) عند الضرورة بواسطة الفرجار .

(٢) تصلح مثلثات القدرة لجميع الدوائر بينما تصلح مثلثات المعاوقة والجهد للتوصيل على التوالي فقط ومثلثات المواصلة والتيار للتوصيل على التوازي فقط . (للتحويل إلى التوصيلات المكافئة انظر اللوحة ٤٠)

## القدرة في الحمل الحثي

تمرينات :

٤١ – ١ احسب بواسطة المعطيات بالجدول :

١ – القدرة الظاهرية S

٢ – معامل القدرة $\cos \varphi$

| أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|
| 100 V | 40 V | 110 V | 220 V | 24 V | 380 V |
| 1,5 A | 0,5 A | 10 A | 0,3 A | 2,5 A | 1,8 A |
| 120 W | 12 W | 770 W | 40 W | 36 W | 220 W |

٤١ – ٢ إذا استهلكت ملفات قواطع التلامس التلقائية القدرات التالية طبقا للكتالوج . احسب معاملات القدرة المناظرة بالجدول التالي :

| | | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|---|
| S | عند التحميل | 40 VA | 150 VA | 400 VA | 1,2 kVA |
| P | عند التحميل | 30 W | 100 W | 150 W | 0,4 kW |
| $\cos \varphi$ | عند التحميل | ? | ? | ? | ? |
| S | عند السكون | 7,5 VA | 18 VA | 50 VA | 0,1 kVA |
| P | عند السكون | 2,5 W | 5 W | 15 W | 0,03 kW |
| $\cos \varphi$ | عند السكون | ? | ? | ? | ? |

٤١ – ٣ احسب القدرة الفعالة P المستهلكة بالواط للقيم الاسمية المعطاة لمحركات صغيرة تعمل بالتيار المتردد .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_N$(V) | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| $I_N$(A) | 1,2 | 1,5 | 2,7 | 3,8 | 4,6 | 5,8 |
| $\cos \varphi_N$ | 0,56 | 0,6 | 0,62 | 0,67 | 0,72 | 0,75 |

٤١ – ٤ أثناء تشغيل محرك تيار متردد بينت أجهزة القياس القيم التالية : $U = 220$ V; $I = 6{,}5$ A; $P = 1{,}05$ kW

كم كانت قيمة معامل القدرة؟

٤١ – ٥ ما قيمة تيار السكون الذي يمر خلال لفيفة ملف قاطع تلامس تلقائي ، يسحب قدرة فعالة قدرها 88 W عند التوصيل بتيار متردد 220 V~/50 Hz ومعامل قدرة $\cos \varphi \approx 0{,}4$.

٤١ – ٦ يسحب مصباح فِلُوَري بياناته 220 V/28 W ، تيارا $I_1 = 0{,}25$ A بدون معادلة . احسب : أ) معامل القدرة $\cos \varphi_1$ للمصباح غير المعادل ب) التيار المسحوب $I_2$ إذا تمت معادلة المصباح إلى $\cos \varphi_2 = 0{,}8$.

٤١ – ٧ صمم موصل تيار متردد ليعمل على جهد قدره 6 000 V وتيار قدره 35 A. ما مقدار القدرة الفعالة التي يمكن نقلها بمعامل قدرة :

أ) 0,7 ب) 0,8 ج) 0,85 د) 1,00

٤١ – ٨ يتم تشغيل محرك غسالة كهربائية بمعطيات لوحة القدرة : 220 V; 50 Hz; 3,5 A; $\cos \varphi = 0{,}7$; لمدة $4^1/_2$ h بالحمل الإسمي . احسب تكلفة الطاقة (للمحرك فقط) إذا بلغ سعر الطاقة 0,12 SR/kWh.

٤١ – ٩ قيست على لوحة التوزيع بمحطة تغذية بالتيار المتردد القيم التالية : $U = 125$ V, $I = 32$ A; $\cos \varphi = 0{,}84$

أ) احسب قراءة الواطمتر . ب) ما مقدار الزيادة التي تبينها قراءة العداد بعد زمن تشغيل قدره 7 min؟

٤١ – ١٠ إذا بيّن عداد القدرة الفعالة في كابينة القياس لمحطة محولات استهلاكا قدره $W = 648$ kWh بعد 8 h من التشغيل وبيّن عداد القدرة المفاعلة $W_r = 576$ kvarh. احسب معامل القدرة .

٤١ – ١١ يبلغ معامل القدرة عند التحميل الإسمي لمحرك تيار متردد يعمل بجهد قدره 220 V ، $\cos \varphi = 0{,}67$. وبعد 25 min من تشغيل المحرك بالتحميل الإسمي بينت قراءة العداد زيادة من 174,250 kWh إلى 174,475 kWh .

ما مقدار التيار المار في خط تغذية المحرك؟

٤١ – ١٢ سحب حمل تيارًا مترددًا قدره 12 A عند التوصيل بجهد قدره 165 V ونتيجة لذلك دار قرص العداد ذو الثابت $C_c = 750$ r/kWh أربع مرات في 24 ثانية . عيّن بواسطة هذه المعطيات معامل القدرة .

**ملاحظات :**

**الدوائر المكافئة للملف :**

(١) ترتفع المقاومة عند وجود مفقودات في النحاس حيث $R_{Cu} = \varrho \cdot l/A$ و $X_L = \omega \cdot L$ يتصلان على التوالي .

(٢) يرتفع التيار المسحوب عند وجود مفقودات في الحديد حيث $R_{Fe} = U^2 \div P_{Fe}$ و $X_L = \omega \cdot L$ يتصلان على التوازي .

(٣) للاطلاع على الدائرة المكافئة للتوصيل المركب (المختلط) (انظر المسألة ٤١ – ٢٩) حيث وصّلت $X_L$ على التوازي مع $R_{Fe}$ ووصّلت $R_{Cu}$ معهما على التوالي .

(٤) إذا كانت القيم النهائية المطلوب التوصل إليها ليست هي القيم الأومية لكل من $X_L$ و $R_{Cu}$ وإنما هي القيم الكهربائية الكلية فقط $S, P, Q, U_t, I_t, Z_t, \sphericalangle\varphi$ فإنه يسمح بحرية اختيار الدائرة المكافئة المكونة من $X_L$ و R حيث $(P = U \cdot I_a = I \cdot U_a)$ .

٤١ – ١٣ تسحب لفيفة ذات قلب حديدي موصلة على 220 V, 50 Hz تيارا ~ 5 A وقدرة فعالة 200 W .

أ ) احسب R لتوصيل التوازي المكافئ $(P = \frac{U^2}{R})$

ب) احسب R لتوصيل التوالي المكافئ $(P = I^2 \cdot R)$

٤١ – ١٤ تتكون لفيفة مغنطيس يعمل بالتيار المتردد من سلك نحاسي طوله 252 m وقطره 1,4 mm و $\varkappa = 56$ Sm/mm² عند $I = 6$ A (50 Hz) وتسحب قدرة فعالة قدرها 180 W. احسب :

أ ) المقاومة الأومية للموصل .

ب) المقاومة الفعالة لتوصيل التوالي المكافئ .

لماذا تختلف النتيجتان؟

٤١ – ١٥ يسحب ملف بدون قلب حديدي عند 50 Hz $(L = 0{,}25$ H) تيارا قدره 1,2 A . احسب :

أ) المفاعلة $X_L$ ب) القدرة المفاعلة المأخوذة Q (var) .

٤١ – ١٦ يأخذ ملف ذو قلب حديدي موصل على جهد متردد ذي 50 Hz عند I = 5 A ، قدرة فعالة P = 140 W. وتبلغ مقاومة التوصيل للفيفة الملف $R_{Cu}$ = 4 Ω. احسب :

أ ) المقاومة الفعالة R لتوصيل التوالي المكافئ

ب) فقد القدرة $P_{Cu} = I^2 \cdot R_{Cu}$ في السلك النحاسي .

ج) القدرة اللازمة للقلب الحديدي $P_{Fe} = P - P_{Cu}$

٤١ – ١٧ تبلغ مقاومة الموصل لملف ذي قلب مصمم للتيار المتردد 5 Ω وتبلغ محاثته 0,3 H ويمكن إهمال فقد الحديد عند التوصيل على 220 V~/50 Hz.

أ ) احسب I و P عند التوصيل بجهد مستمر 220 V.

ب) احسب I و P عند التوصيل بجهد متردد 220 V~/50 Hz.

ج) ما هي النتيجة المستفادة من مقارنة التيار المسحوب في الحالتين؟

٤١ – ١٨ يعمل ملف بدون قلب حديدي (R=60 Ω, L=0,255 H) موصل بجهد متردد (~) 220 V بالترددات التالية . أكمل الجدول ثم قارن النتائج .

| مثال | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| (التردد) f | 50 Hz | 100 Hz | 300 Hz | 800 Hz |
| $X_L = 2\pi f \cdot L$ | 80 Ω | ? | ? | ? |
| $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ | 100 Ω | ? | ? | ? |
| $I = U \div Z$ | 2,2 A | ? | ? | ? |
| $S = U \cdot I$ | 484 VA | ? | ? | ? |
| $Q = I^2 \cdot X_L$ | 387 var | ? | ? | ? |
| $P = I^2 \cdot R$ | 290 W | ? | ? | ? |
| $\cos\varphi = P \div S$ | 0,6 | ? | ? | ? |

٤١ – ١٩ تعطي لفيفة مغنطيس عند 50 Hz ~ القيم U=100 V ، P=30 W; I=0,5 A. احسب :

أ) S (VA) ب) Q (var) ج) cos φ د) sin φ هـ) $X_L$

لتوصيل التوالي المكافئ ($Q = I^2 \cdot X_L$) و $X_L$ لتوصيل التوازي المكافئ ($Q = \frac{U^2}{X_L}$) .

٤١ – ٢٠ ما مقدار الجهد U على طرفي ملف خانق يسحب عند f = 50 Hz و cos φ = 0,5 تيارا شدته 12 A وقدرة فعالة 1020 W.

٤١ – ٢١ قسم الجهد الكلي $U_t$ لتوصيل توال مكافئ إلى جهد فعال وجهد مفاعل .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_t$ (V) | 24 | 42 | 110 | 220 | 380 | 500 |
| cos φ | 0,8 | — | 0,75 | 0,9 | — | 0,85 |
| sin φ | — | 0,5 | — | — | 0,6 | — |

الحل للجزء (أ) : $U_a = U_t \cdot \cos\varphi = 24\ V \cdot 0,8 = \underline{19,2\ V}$

$U_r = \sqrt{U^2 - U_a^2} = \sqrt{(24\ V)^2 - (19,2 V)^2} = \underline{14,4\ V}$

٤١ – ٢٢ قسم $I_t$ لتوصيل تواز مكافئ إلى تيار فعال وتيار مفاعل .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_t$ (A) | 5 | 0,12 | 240 | 2 500 | 18 | 32,5 |
| cos φ | 0,8 | — | — | 0,65 | — | 0,88 |
| sin φ | — | 0,8 | 0,55 | — | 0,65 | — |

٤١ – ٢٣ وصّل ملف بدون قلب حديدي (L = 0,51 H, R = 120 Ω) على جهدمتردد 220 V . احسب كلا من الكميات S و I و U و Z ، لتوصيل التوازي المكافئ للترددات :

أ) 50 Hz ب) 16 ²/₃ Hz ج) 60 Hz د) 800 Hz

ارسم المثلثات بمقياس رسم مناسب .

$Z = \sqrt{R^2 + X^2};\ I = U \div Z$

| على التوالي | Z (Ω) | U (V) | I (A) | S (VA) | cos φ |
|---|---|---|---|---|---|
| فعال | 120 | 132 | 1,1 | 145 | 1,0 |
| مفاعل | 160 | 176 | 1,1 | 194 | 0,0 |
| كلي | 200 | 220 | 1,1 | 242 | 0,6 |

التوصيل على التوازي للجزء (أ) : $I_a = I \cdot \cos\varphi;\ I_r = I \cdot \sin\varphi$

| على التوازي | Z (Ω) | U (V) | I (A) | S (VA) | cos φ |
|---|---|---|---|---|---|
| فعال | 333 | 220 | 0,66 | 145 | 1,0 |
| مفاعل | 250 | 220 | 0,88 | 194 | 0,0 |
| كلي | 200 | 220 | 1,1 | 242 | 0,6 |

## القدرة المفاعلة للمكثف

٤١ – ٢٤ احسب التيار المسحوب عند التوصيل على 220 V/50 Hz لمكثفات ذات القدرات الإسمية التالية :

أ) 1 kvar ب) 2 kvar ج) 5 kvar د) 10 kvar هـ) 25 kvar

٤١ – ٢٥ احسب سعة المكثف (μF) للقدرات الإسمية والجهود الإسمية التالية عند تردد شبكة قدره 50 Hz :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| Q = (kvar) | 2,5 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| U = 220 V | ? | ? | ? | ? | ? |
| U = 380 V | ? | ? | ? | ? | ? |
| U = 525 V | ? | ? | ? | ? | ? |

الحل للجزء (أ) (220 V):

$C = 1/\omega X_C = 10^6 \div (314\ 1/s \cdot 19,35\ \Omega) = \underline{165\ \mu F}$

$X_C = U^2 \div Q_C = 48\,400\ V^2 \div 2\,500\ kvar = 19,35\ \Omega$

٤١ – ٢٦ احسب لسعة قدرها C = 250 μF القدرة الإسمية للمكثف (kvar) ، وللجهود الإسمية وترددات الشبكة التالية :

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| U (V) | 380 | 525 | 1050 | 3150 | 5250 |
| 50 Hz | ? | ? | ? | ? | ? |
| 16²/₃ Hz | ? | ? | ? | ? | ? |
| 60 Hz | ? | ? | ? | ? | ? |

الحل للجزء (أ) (50 Hz):

$Q_C = U^2 \div X_C = 144\,000\ V^2 \div 12,7\ \Omega = \underline{11,3\ kvar}$

$X_C = 1/\omega C = 10^6 \div (314\ 1/s \cdot 250\ F) = 12,7\ \Omega$

٤١ – ٢٧ وصّلت المكثفات 5 μF و 25 μF و 50 μF على التوالي على 6 kV/50 Hz . احسب :

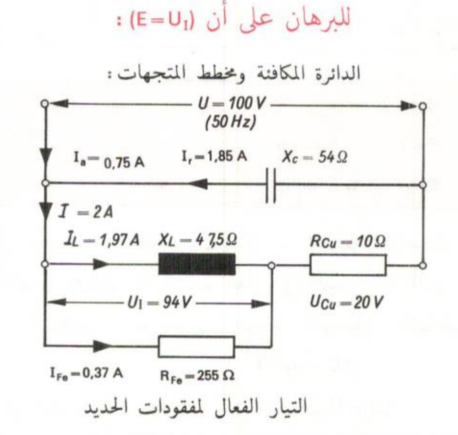
أ) السعة الكلية ب) القدرة المفاعلة الكلية ج) الجهود الفرعية .

٤١ – ٢٨ يراد معادلة دائرة للمصابيح الفلورية المبينة بالشكل لتصبح $\cos\varphi = 1$ .
على هذا الأساس احسب :
أ ) معامل القدرة $\cos\varphi$ بدون مكثف
ب) سعة المكثف المطلوب توصيله على التوازي $C_1$ . أو بدلا من ذلك احسب :
ج) سعة المكثف الموصل على التوالي $C_2$ لتوصيلة مزدوجة (القدرة المفاعلة للملفين) .
د ) جهد الانهيار للمكثف $C_2$ .

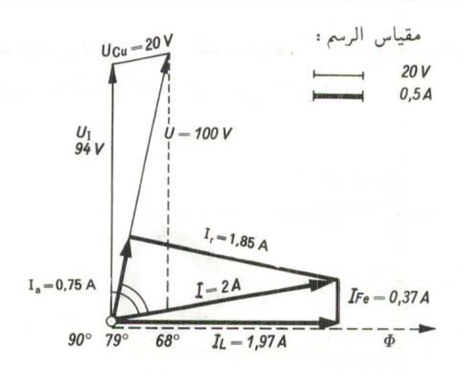
مثال : احسب للملف ذي القلب الحديدي المبين بالشكل (الكميات المترددة جيبية الشكل) :
أ ) جميع قيم القدرات والمفقودات .
ب) سعة المكثف عند $\varphi = 0°$ مع قيم التيار .
ج) القيم I و U و Z من الرسم التخطيطي المكافئ للملف .
د ) قيم القياس للمجال المغنطيسي للملف .

الحل :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| أ ) القدرات : | القدرة الظاهرية : | S | $= U \cdot I$ | $= 100 \cdot 2 = 200$ VA |
| | القدرة الفعالة : | P | $= n \cdot 60\,000/C_c$ | $= 1{,}5 \cdot 60\,000/1200 = 75$ W |
| | معامل القدرة : | $\cos\varphi$ | $= P \div S$ | $= 75 \div 200 = 0{,}375$ ($\sphericalangle\varphi = 68°$) |
| | القدرة المفاعلة الحثية : | $Q_L$ | $= S \cdot \sin\varphi$ | $= 200 \cdot 0{,}926 = 185$ var |
| | الفقد في النحاس : | $P_{Cu}$ | $= I^2 \cdot R_{Cu}$ | $= 4 \cdot 10 = 40$ W |
| | الفقد في الحديد : | $P_{Fe}$ | $= P - P_{Cu}$ | $= 75 - 40 = 35$ W |
| ب) المكثف : | القدرة المفاعلة السعوية : | $Q_C$ | $= Q_L$ | $= 185$ var |
| | المفاعلة السعوية : | $X_C$ | $= U^2 \div Q_C$ | $= 10000 \div 185 = 54\ \Omega$ ($\sphericalangle\varphi_C = 90°$) |
| | التردد الزاوي : | $\omega$ | $= 2\pi \cdot f$ | $= 2\pi \cdot 50 = 314$/s |
| | السعة : | C | $= 10^6/\omega X_C$ | $= 10^6 \div (314 \cdot 54) = 59\ \mu$F |
| | التيار المفاعل في C : | $I_r$ | $= I \cdot \sin\varphi$ | $= 2 \cdot 0{,}926 = 1{,}85$ A |
| | التيار في خط التغذية : | $I_a$ | $= I \cdot \cos\varphi$ | $= 2 \cdot 0{,}375 = 0{,}75$ A |
| ج) القيم I و U و Z : | ΔU لسلك الملف : | $U_{Cu}$ | $= I \cdot R_{Cu}$ | $= 2 \cdot 10 = 20$ V |
| | توزيع التيار : | $\tan\varphi_I$ | $= Q_L \div P_{Fe}$ | $= 185 \div 35 = 5{,}29$ ($\sphericalangle\varphi_I = 79°20$) |
| | تيار الفقد في الحديد : | $I_{Fe}$ | $= I \cdot \cos\varphi_I$ | $= 2 \cdot 0{,}85 = 0{,}37$ A |
| | تيار المغنطة : | $I_L$ | $= I \cdot \sin\varphi_I$ | $= 2 \cdot 0{,}983 = 1{,}97$ A |
| | المقاومة الفعالة للحديد : | $R_{Fe}$ | $= P_{Fe} \div I_{Fe}^2$ | $= 35 \div 0{,}137 = 255\ \Omega$ |
| | المفاعلة الحثية : | $X_L$ | $= Q_L \div I_L^2$ | $= 185 \div 3{,}89 = 47{,}5\ \Omega$ ($\sphericalangle\varphi_L = 90°$) |
| | $U_I$ للمجال المغنطيسي : | $U_I$ | $= I_L \cdot X_L$ | $= 1{,}97 \cdot 47{,}5 = 94$ V |
| د ) المجال المغنطيسي : | المحاثة : | L | $= X_L \div \omega$ | $= 47{,}5 \div 314 = 0{,}151$ H |
| | المواصلة المغنطيسية : | $\Lambda$ | $= 10^6 \cdot L/N^2$ | $= 10^6 \cdot 0{,}151/1000^2 = 0{,}151\ \mu$H |
| | وصلية التدفق : | $\Theta$ | $= I_L \cdot N$ | $= 1{,}97 \cdot 1000 = 1970$ A |
| | التدفق المغنطيسي : | $\Phi$ | $= \Theta \cdot \Lambda$ | $= 1970 \cdot 0{,}151 = 298\ \mu$Vs |
| | للبرهان على أن $(E = U_I)$ : | E | $= N \cdot \omega\Phi/10^6$ | $= 1000 \cdot 314 \cdot 298/10^6 = 94$ V |

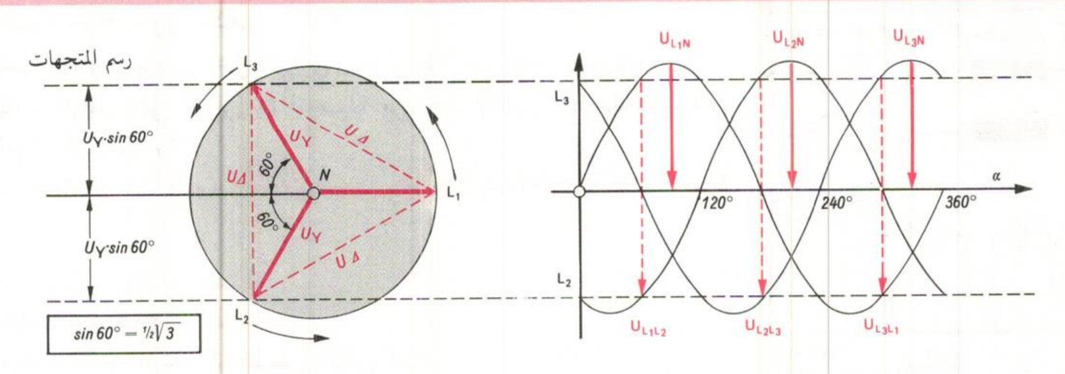


التيار الفعال لمفقودات الحديد




٤١ – ٢٩ احسب جميع القيم كما في المثال السابق إذا علمت كميات القياس التالية :
U = 100 V; f = 50 Hz; $C_c$ = 750 r/kWh; n = 1 r.p.m.; I = 1,2 A (Z = 83,3 Ω); N = 2 000 لفة ; $R_{Cu}$ = 20 Ω

## الجهد المتردد ثلاثي الأطوار




(١) من شبكة التيار ثلاثي الأطوار يمكن استنتاج أن: هنالك ثلاثة جهود من نقطة التفرع النجمي $U_Y$ (عند نقطة التعادل ينحرف كل موصل عن الآخر بزاوية قدرها 120°). كما توجد ثلاثة جهود خارجية $U_\Delta$ (يتقدم جهد كل موصل عن جهد نقطة التفرع النجمي بزاوية قدرها 30°).

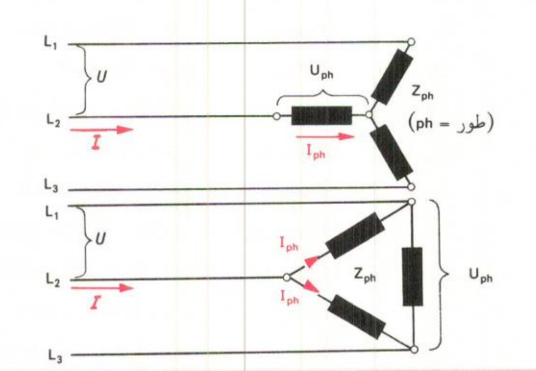
(٢) النسبة $(U_\Delta : U_Y)$: انظر مخطط المتجهات: $U_\Delta = 2 \cdot U_Y \cdot \sin 60° = U_Y \cdot \sqrt{3} = U_Y \cdot 1,73$

## التوصيل النجمي والتوصيل المثلثي

(١) تتكون ثلاثة متجهات متماثلة للقيمة الفعالة ويعمل كل منها الزاوية $\varphi = 120°$ مع الآخر وتعطي حاصل جمع اتجاهي مساو للصفر (خط توصيل الرجوع غير لازم).

(٢) تجمع الجهود معا (في التوصيل النجمي Y) أو التيارات (في التوصيل المثلثي Δ).

(٣) تحويل اتصال حمل ثلاثي الأطوار من نجمي (Y) إلى مثلثي (Δ) يضاعف التيار I في خط التغذية إلى ثلاثة أمثاله:




**التوصيل النجمي** (Y) = اتصال موحد (مترابط) للجهود.

ويقع كل طور (وجه) بين نقطة التفرع النجمي وأحد الموصلات.

| | | |
|---|---|---|
| $U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}}$ | $I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z_{ph}}$ | $I = I_{ph}$ |

**التوصيل المثلثي** (Δ) = اتصال موحد (مترابط) للتيارات.
ويقع كل طور (وجه) بين موصلين خارجيين.

| | | |
|---|---|---|
| $U_{ph} = U$ | $I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z_{ph}}$ | $I = I_{ph} \cdot \sqrt{3}$ |

## القدرات وفقد الجهد

| | | | |
|---|---|---|---|
| القدرة الظاهرية لطور (وجه) واحد | Δ $S_{ph} = U \cdot \frac{I}{\sqrt{3}}$ | Y $S_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I$ | $S_{ph} = U_{ph} \cdot I_{ph}$ |
| القدرة الظاهرية الكلية | Δ $S = 3 \cdot U \cdot \frac{I}{\sqrt{3}}$ | Y $S = 3 \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot I$ | $S = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph}$ |

عند قياس U و I لخط التغذية تصلح الصيغ الرياضية التالية للقدرة ثلاثية الأطوار لكل من Y و Δ:

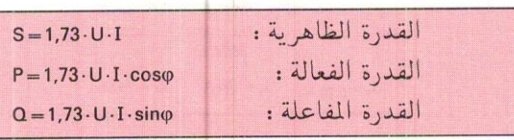
| | |
|---|---|
| القدرة الظاهرية: | $S = 1,73 \cdot U \cdot I$ |
| القدرة الفعالة: | $P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ |
| القدرة المفاعلة: | $Q = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$ |

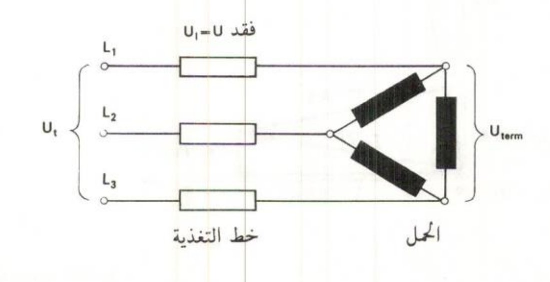
**الفرق في الجهد** $\Delta U$: $\Delta U = U$ (شبكة) $-$ U (أطراف)

يتوافق الجهد المفقود $U_l$ كجهد فعال في الطور مع التيار I في التوصيل النجمي. ويكون جهد الموصل المناظر هو:

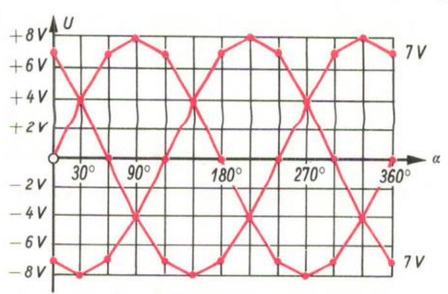
$\Delta U = U_l \cdot \sqrt{3}$

ويصبح في مثلث المتجهات: $(U_t - U_{term}) < U_l \cdot \sqrt{3}$.


$$\Delta U \approx 1,73 \cdot \frac{I \cdot l}{\varkappa \cdot A} \cdot \cos\varphi$$



تمرينات




٤٢ – ١ ارسم على لوحة رسم بياني مجموعة منحنيات خصائصية ($U=\pm 8V$ على المحور الرأسي، $\alpha=360°=12\cdot30°$) وارسم على المحور الأفقي:

أ ) مبتدئا من درجة $0°$ جهدا جيبيا مترددا ذا قيمة عظمى 8 V والقيم اللحظية التالية:

$U_{max}\cdot\sin\ 0°=8\ V\cdot 0=0\ V$

$U_{max}\cdot\sin\ 30°=8\ V\cdot 1/2=4\ V$

$U_{max}\cdot\sin\ 60°=8\ V\cdot 7/8=7\ V$

$U_{max}\cdot\sin\ 90°=8\ V\cdot 1=8\ V$

$U_{max}\cdot\sin\ 120°=8\ V\cdot 7/8=7\ V$

إلخ . . . . . . .

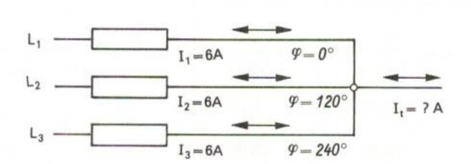
ب) ومبتدئا من $120°$ منحنى جيبيا ثانيا ذا قيمة عظمى 8 V.

ج) ومبتدئا من $240°$ منحنى جيبيا ثالثا ذا قيمة عظمى 8 V كذلك.

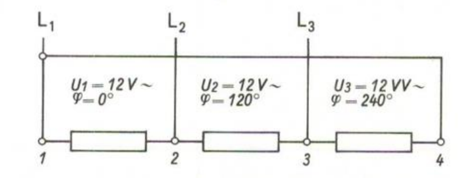
د) اجمع القيم اللحظية للجهود الجيبية الثلاثة عند قيم $\alpha=0°, 30°, 60°, 90°$ . . . إلى $360°$. لاحظ الإشارات (±) في كل حالة.

٤٢ – ٢ إجمع التيارات الفرعية بواسطة رسم متجهات التيار متصلة ببعضها (بإزاحة قدرها $120°$ بين الطور والآخر).

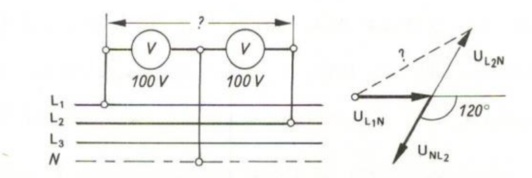
أ) ما هي شدة التيار الكلي؟ ب) ما هي التيارات الفرعية التي تمر عند انقطاع خط التجميع؟




٤٢ – ٣ اجمع الجهود الجزئية (الفرعية) بواسطة رسم متجهات الجهود متصلة ببعضها (بإزاحة قدرها $120°$ بين الطور والآخر). ما مقدار الجهد الكلي بين النقطتين 1 و4؟



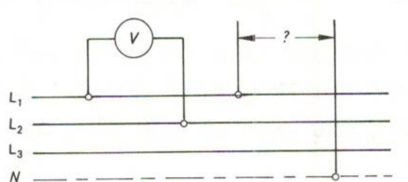

٤٢ – ٤ اجمع بالرسم الجهدين الفرعيين للطورين $U_{L1-N}$ و $U_{N-L2}$ ونظرا لأن الجهد الثاني عكست أقطابه ($N\rightarrow L_2$) بدلا من $L_2\rightarrow N$ يجب أن يعكس المتجه الثاني أيضا.




٤٢ – ٥ قيست قيم الجهود (جهد الخط) بين الموصلين $L_1$ و $L_2$ في شبكة تيار ثلاثية الأطوار ذات أربعة موصلات بياناتها 3/N~50 Hz 380/220 V على مدار اليوم فكانت كما يلي:

أ) 385 V ب) 378 V ج) 394 V د) 375 V هـ) 380 V

احسب جهد الطور (الوجه) $U_{L_1N}$ للتوصيل النجمي بين $L_1$ و N لكل حالة مستخدما القيمة ($\sqrt{3}=1,732$)



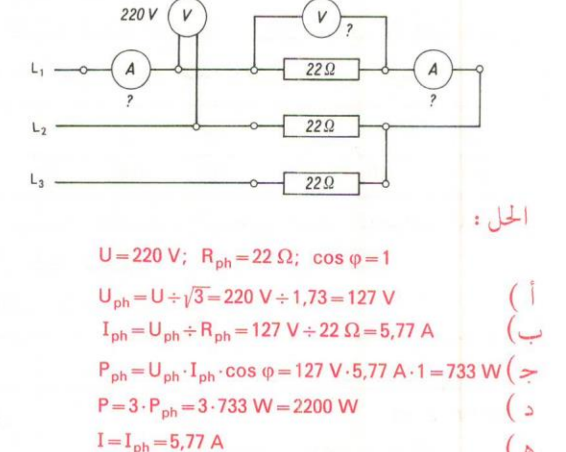

٤٢ – ٦ احسب الجهود المناظرة:

| | أ | ب | ج | د | هـ |
|---|---|---|---|---|---|
| $U_{L_1N}$ | 127 V | 220 V | 380 V | ? | ? |
| $U_{L_1L_2}$ | ? | ? | ? | 380 V | 220 V |

مثال:

ثلاث مقاومات فعالة لكل منها $R=22\ \Omega$ موصلة نجميا (Y) على شبكة تيار ثلاثي الاطوار بياناتها 220 V/50 Hz. احسب:

أ) جهد الطور ($U_{ph}$) ب) تيار الطور ($I_{ph}$) ج) قدرة الطور ($P_{ph}$) د) التيار I (في الخط).




الحل:

$U=220\ V;\ R_{ph}=22\ \Omega;\ \cos\varphi=1$

أ ) $U_{ph}=U\div\sqrt{3}=220\ V\div1,73=127\ V$

ب) $I_{ph}=U_{ph}\div R_{ph}=127\ V\div22\ \Omega=5,77\ A$

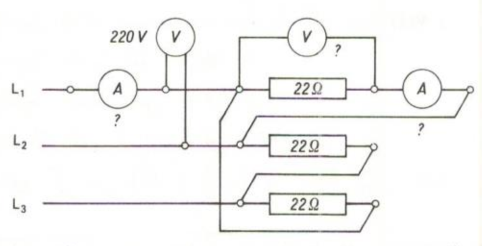
ج) $P_{ph}=U_{ph}\cdot I_{ph}\cdot\cos\varphi=127\ V\cdot5,77\ A\cdot1=733\ W$

د ) $P=3\cdot P_{ph}=3\cdot733\ W=2200\ W$

هـ ) $I=I_{ph}=5,77\ A$

٤٢ – ٧ ثلاث مقاومات فعالة لكل منها $R=22\ \Omega$ وصّلت مثلثيا (Δ) على شبكة تيار ثلاثي الأطوار 220 V/50 Hz. احسب:

أ) جهد الطور ($U_{ph}$) ب) تيار الطور ($I_{ph}$) ج) قدرة الطور ($P_{ph}$) د) القدرة (P) هـ) التيار I (في الخط).




٤٢ – ٨ تحتوي غرفة تسخين موصلة على شبكة تيار ثلاثي الأطوار 220 V/50 Hz على 3 لفائف تسخين مقاومة كل منها 27 Ω ويمكن توصيلها نجميا أو مثلثيا حسب الاختيار. احسب كلا من P و $P_{ph}$ و $I_{ph}$ و $U_{ph}$ وكذلك التيار I في الموصل:

أ) في حالة التوصيل النجمي ب) في حالة التوصيل المثلثي.

٤٢ – ٩ يحتوي فرن تسخين على ثلاثة ملفات تسخين مقاومة كل منها R = 20 Ω ويمكن تحميل كل منها حتى 14,5 A. احسب :
أ ) القدرة الكلية عند الحمل الكامل .
ب) الجهد الاسمي المسموح به في التوصيل النجمي .
ج) تيار الخط في حالة التوصيل النجمي .
د ) الجهد الإسمي المسموح به في التوصيل المثلثي .
هـ) تيار الخط في حالة التوصيل المثلثي .

٤٢ – ١٠ قيس التيار في الخط الواصل إلى خزان للمياه الدافئة ، موصل على شبكة تيار ثلاثي الأطوار 3/N ~ 50 Hz/220 V ، فكان 15,8 A. احسب القدرة التي يستهلكها الخزان بالكيلوواط (kW) عند cos φ = 1.

٤٢ – ١١ مامقدار التيار في الخط لموقد كهربائي ذي قيمة حمل قدرها 7 675 W إذا وصل على شبكة تيار ثلاثية الأطوار جهدها 220 V بقدرة تبلغ ثلثي قدرته الإسمية (القدرة الإسمية = قدرة اكبر حمل) ؟

٤٢ – ١٢ حمّل محرك تيار ثلاثي الأطوار قدرته 3,7 kW بنصف القدرة الإسمية وبينت أجهزة القياس القيم التالية :
cos φ = 0,66 والجهد في الموصل U = 380 V والتيار I = 5,75 A ما مقدار القدرة الفعالة المعطاة للمحرك؟

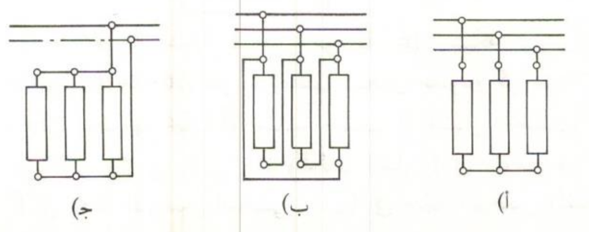
٤٢ – ١٣ كبل تيار ثلاثي الأطوار ، ذو أربعة موصلات موصّل على تيار متردد قدره 3/N ~ 50 Hz/380 V ويسمح بتحميل كل من موصلاته بتيار I = 63 A.
مامقدار القدرة الفعالة التي يمكن للكبل نقلها إذا أخذ معامل القدرة cos φ القيم التالية عند توصيل أحمال حثية :

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| cos φ | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,6 | 0,5 |

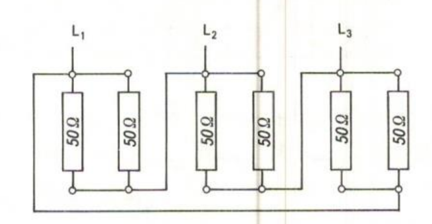
٤٢ — ١٤ وصّلت مقاومات التسخين ذات المعطيات المذكورة في الجدول طبقا لتوصيلات التيار ثلاثي الأطوار .
احسب القيم الإسمية لكل من U و I و P .

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| قدرة الطور | – | – | 3 kW | 1650 W |
| جهد الطور | 220 V | 220 V | 380 V | – |
| تيار الطور | 4,54 A | – | – | – |
| مقاومة الطور | – | 32,5 Ω | – | 9,77 Ω |
| نوع التوصيل | Y | Δ | Δ | Y |

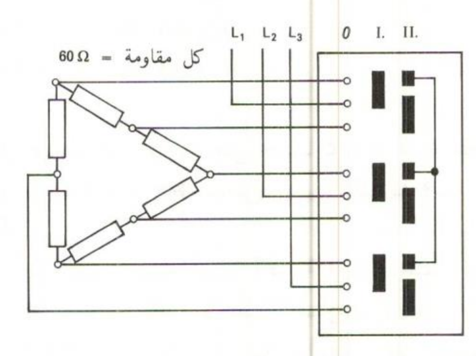
٤٢ – ١٥ جهزت لوحة الأطراف لخزان حمام سعته 50 l بحيث يمكن توصيل ثلاثة مسخنات مقاومة كل منها 40 Ω :
أ ) توصيلا نجميا على 3 ~ 380 V
ب) توصيلا مثلثيا على 3 ~ 220 V
ج) توصيلا على التوازي على 1/N 220 V ~.
احسب في كل من (أ) و (ب) و (ج) تيار الخط .




٤٢ – ١٦ وصّلت ست مقاومات تسخين قيمة كل منها 50 Ω طبقا للشكل بجهد متردد 3 ~ 500 V. احسب كلا من :
أ ) تيار الخط
ب) القدرة المستهلكة
ج) طول السلك للفيفة التسخين (إذا كان مصنوعا من معدن سلك مقاومة RW 100 وبكثافة تيار 10 A/mm²)




٤٢ – ١٧ ست مقاومات تسخين كل منها 60 Ω موصلة كما هو موضح بالشكل ووصّلت بجهد 3 ~ 500 V. احسب القدرة المستهلكة بالحمل لكل من :
أ) وضع المفتاح I ب) وضع المفتاح II



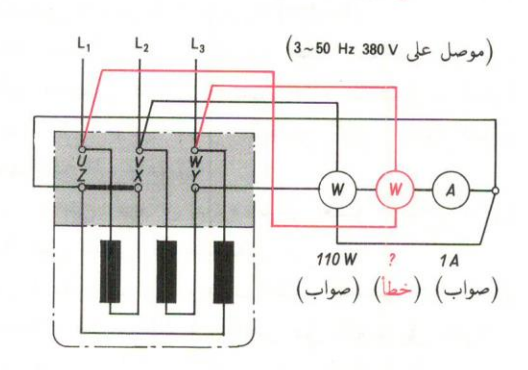

٤٢ – ١٨ عند لوحة التحكم لمحرك تيار ثلاثي الأطوار قدرته 22 kW قيست القيم التالية (تبعا لتحميل المحرك) . احسب بقية الكميات المناظرة كما في الجدول :

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| جهد الشبكة (U) | 500 V | 500 V | 500 V |
| التحميل | حمل كامل | $^1/_2$ حمل | $^1/_4$ حمل |
| تيار الموصل | 33 A | 19 A | 14,3 A |
| جتا φ (cos φ) | 0,88 | 0,77 | 0,55 |
| S (kVA) | ? | ? | ? |
| $P_i$ (kW) | ? | ? | ? |
| Q (kvar) | ? | ? | ? |
| sin φ | ? | ? | ? |
| tan φ | ? | ? | ? |
| η | ? | ? | ? |

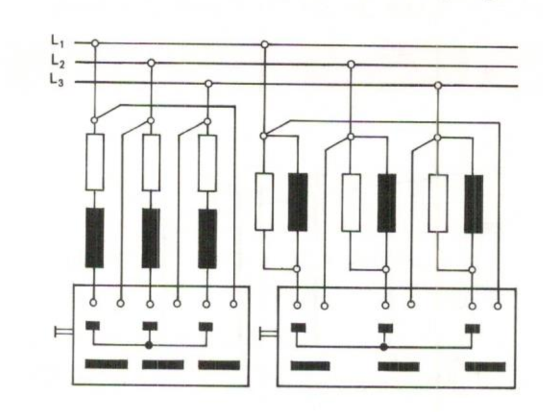
٤٢ – ١٩ قيست قيم التحميل التالية على مدار يوم عمل على موصل تيار ثلاثي الاطوار بياناته 3 ~ 50 Hz/220 V ويتصل بحمل صغير .
أ ) لمدة 4 ساعات بتيار شدته 120 A عند 0,8 = cos φ
ب) لمدة $2^3/_4$ ساعة بتيار شدته 80 A عند 0,76 = cos φ
ج) لمدة 72 دقيقة بتيار شدته 135 A عند 0,84 = cos φ
د ) لمدة 26 دقيقة بتيار شدته 15 A عند 1 = cos φ
احسب الاستهلاك بالكيلوواط ساعة (kWh) لكل حالة .

٤٢ — ٢٠ يراد قياس القدرة الفعالة للطور الأوسط عند لوحة الأطراف لحمل تيار ثلاثي الأطوار. ما هي القراءة المتوقعة للواطمتر الثاني الموصل بطريقة خاطئة؟

ملاحظة: يتأخر جهد التوصيل المثلثي $U_{L3L1}$ دائما عن جهد التوصيل النجمي $U_{L1L2}$ بمقدار °90.



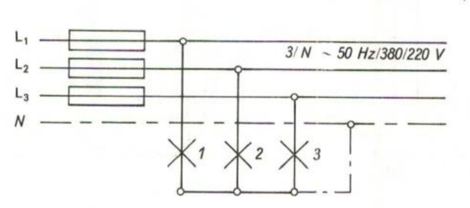

٤٢ — ٢١ وصّلت على شبكة تيار ثلاثي الأطوار 380 V/50 Hz ثلاث مقاومات فعالة R لكل منها 150 Ω وثلاثة مفاعلات $X_L$ لكل منها 80 Ω بأربع توصيلات مختلفة. والمطلوب معادلة القدرة المفاعلة تماما بواسطة ثلاثة مكثفات (بتوصيل مثلثي). احسب جميع قيم الجدول الناقصة.




| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| R و $X_L$ : التوصيل : | توازي مثلثي | توازي نجمي | توالي مثلثي | توالي نجمي |
| $R_{ph}$ | 150 Ω | 150 Ω | 150 Ω | 150 Ω |
| $X_{ph}$ | 80 Ω | 80 Ω | 80 Ω | 80 Ω |
| $Z_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |
| cos φ | ? | ? | ? | ? |
| sin φ | ? | ? | ? | ? |
| U | 380 V | 380 V | 380 V | 380 V |
| $U_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |
| $I_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |
| $P_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |
| I | ? | ? | ? | ? |
| S (VA) | ? | ? | ? | ? |
| P (W) | ? | ? | ? | ? |
| Q (var) | ? | ? | ? | ? |
| $Q_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |
| $C_{ph}$ | ? | ? | ? | ? |

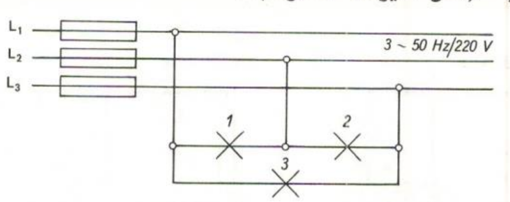
## التحميل غير المتساوي للأطوار

٤٢ — ٢٢ وصّلت ثلاثة مصابيح، كل منها 100 W/220 V بتوصيل نجمي يحتوي على سلك محايد (N) بجهد 3/N ~ 50 Hz/380 V. احسب لحالات اضطراب التشغيل التالية قدرات الأطوار الثلاثة والقدرة الكلية (اهمل تغيرات المقاومة):



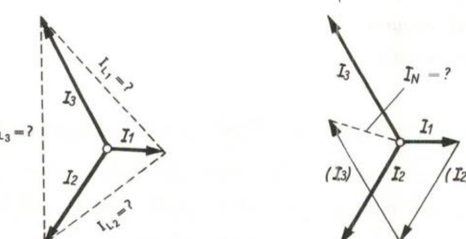

أ) التشغيل بلا اضطرابات (متزن)
ب) فصل المصهر $L_1$ والمصباح 1
ج) فصل المصهرين $L_1$ و $L_2$
د) فصل موصل التعادل
هـ) مثل ب) ولكن بفصل الموصل المحايد N
و) مثل ج) ولكن بفصل الموصل المحايد N.

٤٢ – ٢٣ وصلت ثلاثة مصابيح كل منها 100 W/220 V في توصيل مثلثي على شبكة 3~50 Hz/220 V. احسب لحالات اضطراب التشغيل التالية، قدرات الأطوار الثلاثة والقدرة الكلية (اهمل تغيرات المقاومة):




أ) تشغيل بلا اضطرابات (متزن)
ب) فصل المصهرين $L_1$ و $L_2$
ج) فصل المصهر $L_1$
د) فصل المصباح 1
هـ) فصل المصباحين 1 و 2
و) فصل المصهر $L_1$ والمصباح 1
ز) فصل المصهر $L_1$ والمصباح 2.

٤٢ – ٢٤ اوجد بالرسم لتيارات الأطوار غير المتساوية: $I_1 = 10A$, $I_2 = 20A$, $I_3 = 25A$ (زاوية التأخر لكل منها °120):
أ) تيار موصل التعادل في التوصيل النجمي
ب) جميع تيارات الموصلات في التوصيل المثلثي. (لطريقة الحل انظر الرسم)




ملاحظة: يمكن استخدام طريقة الحل هذه أيضا إذا انحرفت زاوية التأخر بين $I_1$ و$I_2$ و$I_3$ عن °120 وعند عدم تساوي cos φ.

## القيم الإسمية للقدرة وقيم التشغيل

أ ) يغذي عمود الإدارة المولدات بطاقة ميكانيكية ($P_1$) التي تعطي طاقة كهربائية ($P_2$) إلى الشبكة.

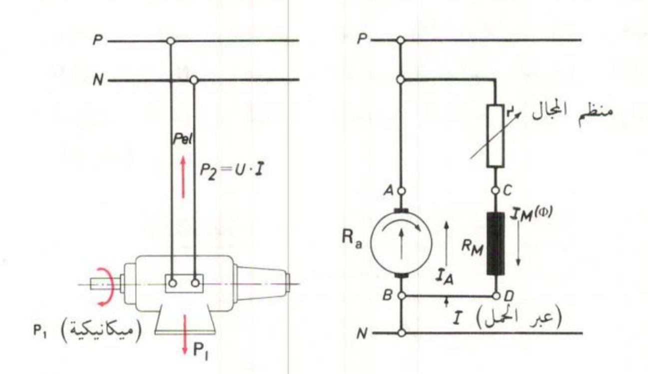
ب) تتناسب ق.د.ك. المتولدة مع حاصل ضرب التدفق المغنطيسي $\Phi$ وسرعة الدوران n ($E \sim \Phi \cdot n$).

ج) تصلح معطيات لوحة القدرة لحالة التشغيل الإسمي، أما قيم التشغيل فتكون حسب حالة التحميل. القدرة الإسمية في مولد التيار المستمر تعني دائما القدرة الكهربائية المستفادة ($P_2$).

د ) $I_A$ و $R_a$ هي القيم في دائرة التيار لعضو الإنتاج أما $I_M$ و $R_M$ فهي للدائرة المغنطيسية.

هـ) تظهر المفقودات في مولدات التيار المستمر عن طريق الاحتكاك (الاحتكاك في المحامل وفي الهواء وفي الفرش) وعن طريق الحرارة الناتجة عن التيار. والمفقودات هي:
في عضو الإنتاج: $I^2_A \cdot R_a$
في لفيفة المغنطيس: $I^2_M \cdot R_M$
تحدد المفقودات الكلية ($P_l$) الكفاية.

و ) تعمل آلة التيار المستمر كمولد فقط إذا كانت ق.د.ك. (E) المستحثة في عضو الإنتاج أكبر من جهد الأطراف U.

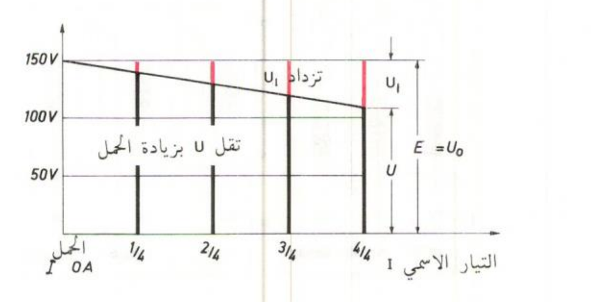


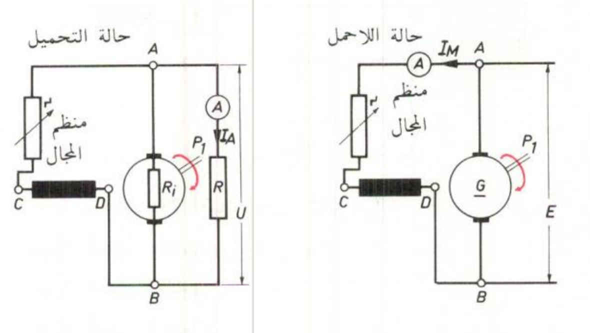

$$P_1 = \frac{M \cdot n}{9550} \quad (kW,\ Nm,\ r.p.m.)$$

$$\text{كفاية المولد } (\eta) = \frac{\text{القدرة الكهربائية}}{\text{القدرة الميكانيكية المعطاة}} = \frac{\frac{U \cdot I}{1000}}{\frac{M \cdot n}{9550}}$$

$$P_l = P_1 - P_2 \qquad \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

## ق.د.ك. — جهد الأطراف — المنحنى الخصائصي للتحميل




أ ) تقاس ق.د.ك. (القوة الدافعة الكهربائية) عند أطراف المولد في حالة الدائرة المفتوحة (جهد الدائرة المفتوحة E).

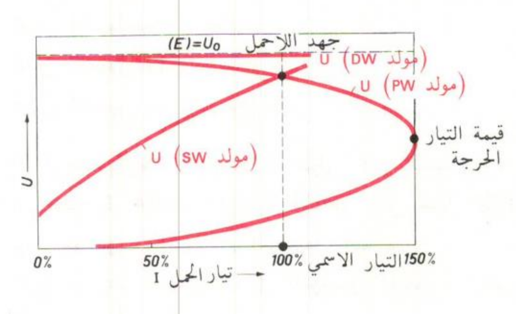
ب) يقاس جهد الأطراف U عند التحميل، إذا مر تيار بالمولد. وهو أصغر من ق.د.ك. بمقدار فقد الجهد $U_l$ في عضو الإنتاج.

ج) ينشأ الهبوط في ق.د.ك. عند التحميل نتيجة فقد الجهد $U_l$ بين طرفي المقاومة الداخلية وهي حاصل جمع المقاومات المكوّنة من جميع اللفائف التي يمر بها تيار عضو الإنتاج $I_A$ (لفيفة عضو الإنتاج ولفيفة قطب التوحيد ولفيفة المعادلة) مضافا إليها مقاومة التلامس للفرش.

($R_i = R_a + R_{pole} + R_{C \cdot W} + R_B$)

$$U_l = I_A \cdot R_i \quad V \qquad U = E - U_l \quad V$$

$$U = E - (I_A \cdot R_i) \quad V$$




DW = Double – wound
PW = Parallel – wound
SW = Series – wound

تمثل منحنيات التشغيل العلاقة بين الجهد والتيار.
يبين منحنى التحميل لمولد تواز (PW) مدى اعتماد جهد الأطراف U على التيار I إذا ظل $I_M$ و n ثابتين. ويعادَل الجهد $U_l$ (من 5% إلى 10%) بواسطة مقاومة ضبط المجال. وعند تخطي «القيمة الحرجة للتيار» (150%) تهبط $\Phi$ تقريبا مع $I_M$.

تمرينات

٤٣ – ١ مامقدار ق.د.ك. المستحثة في لفة من النحاس طولها 10 cm وتتحرك في مجال مغنطيسي كثافة تدفقه B=0,85 T بسرعة v=20 cm/s ؟

الحل : $E=N\cdot B\cdot l\cdot v=1\cdot 0{,}85\ \frac{Vs}{m^2}\cdot 0{,}1\ m\cdot 0{,}2\ \frac{m}{s}=\underline{0{,}017\ V}$

٤٣ – ٢ يتحرك 80 سلكا طول كل منها 50 cm بسرعة 120 cm/s في مجال مغنطيسي كثافة تدفقه 0,9 T. ما مقدار ق.د.ك. المستحثة؟

٤٣ – ٣ أعطى الڤولطمتر عبر سلك نحاسي يتحرك بسرعة 20 cm/s في مجال مغنطيسي قدره 1,05 T جهدا قدره 0,012 V. ما طول الموصل في المجال المغنطيسي؟

٤٣ – ٤ كم يجب أن تكون كثافة التدفق B لمجال مغنطيسي، لكي يتولد في سلك منفرد طوله 0,3 m ق.د.ك. قدرها 500 mV عند سرعة v=2 m/s؟

٤٣ – ٥ يحتوي عضو الانتاج لمولد تيار مستمر على 120 لفة طول كل منها 42 cm ويوجد 75% منها في آن واحد داخل مجال مغنطيسي كثافة تدفقه 0,9 T. ما مقدار ق.د.ك. المستحثة عند سرعة v=1,5 m/s ؟

٤٣ – ٦ احسب القيم الناقصة في المعطيات بالجدول التالي :

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B (T) | 0,8 | 0,72 | 0,75 | 0,84 | 0,6 | ? |
| l (cm) | 20 | 35 | ? | 42 | 8,5 | 22 |
| v (m/s) | 8 | 12,8 | 14 | ? | 7,2 | 2 |
| N (لفة) | 220 | 180 | 160 | 140 | ? | 154 |
| η (%) | 80% | 92% | 88% | 90% | 86% | 90% |
| E (V) | ? | ? | 180 | 110 | 80 | 150 |

٤٣ – ٧ احسب القيم الناقصة بالجدول التالي :

| | جهد المولد U (V) | التيار المستفاد من المولد I (A) | القدرة المستفادة من المولد $P_2$ (kW) | القدرة المعطاة للمولد $P_1$ | الكفاية η |
|---|---|---|---|---|---|
| أ ) | 20 | 1500 | ? | ? kW | 84% |
| ب) | 220 | 350 | ? | 90 kW | ? |
| ج) | 110 | ? | 23 | 26,83 kW | ? % |
| د ) | ? | 170 | 75 | ? kW | 0,89 |
| هـ ) | 220 | ? | ? | 100 kW | 90% |

الحل للجزء (أ) : $P_2=U\cdot I=20\ V\cdot 1500\ A=30\ kW$

$P_1=\frac{P_2}{\eta}=\frac{30\ kW}{0{,}84}=\underline{35{,}7\ kW}$

٤٣ – ٨ ما هي كفاية مولد يعطي قدرة مقدارها 44 kW ويأخذ عند عمود الدوران قدرة مقدارها 50 kW ؟ وما مقدار المفقودات بالواط ؟

٤٣ – ٩ ما مقدار قدرة الإدارة بوحدة (kW) التي يحتاجها مولد تيار مستمر يعطي تيارا شدته 32 A عند جهد إسمي 440 V إذا كانت كفايته 72% ؟

٤٣ – ١٠ مولد تيار مستمر قيمه الإسمية هي 53 kW و 110 V يحتاج قدرة إدارة مقدارها 60 kW. احسب : أ) التيار الإسمي . ب) الكفاية بالنسبة المئوية ج) المفقودات بالواط وبالنسبة المئوية .

٤٣ – ١١ ما مقدار التيار الإسمي لمولد تيار مستمر يعمل على 440 V ويحتاج إلى قدرة إدارة 62 kW عند كفاية قدرها 86% ؟

٤٣ – ١٢ مولد تيار مستمر قيمه الإسمية 550 V, 2 000 A يحتاج عند التحميل الإسمي إلى قدرة إدارة مقدارها 1200 kW.
ما مقدار كفايته ؟ وكم تبلغ القدرة المستفادة منه وشدة التيار عند $^3/_4$ تحميل إذا ظلت η ثابتة ؟

٤٣ – ١٣ مولد تيار مستمر بياناته كالآتي : الجهد الإسمي U=220 V والتيار الإسمي I=12 A والكفاية عند التشغيل الإسمي = 0,72 وسرعة الدوران الإسمية n=2 600 r.p.m. احسب كلا من :
أ ) القدرة الإسمية ب) قدرة عمود الإدارة
ج) عزم الدوران اللازم عند عمود إدارة المولد .

٤٣ – ١٤ يدير محرك ديزل قدرته 6 kW مولد تيار مستمر ذا جهد إسمي 110 V ، وعند التحميل الكامل يظهر فقد في قدرة المولد قدره 0,78 kW. احسب : أ) القدرة الإسمية ($P_2$)
ب) التيار الإسمي (I) ج) الكفاية (η).

٤٣ – ١٥ تستهلك توربينة مائية ذات كفاية ميكانيكية قدرها 70% حجم قدره 0,4 m³ من الماء في الثانية ، من ضاغط هيدرولي قدره 12 m وتدير التوربينة مولد تيار مستمر 220 V بكفاية كهربائية قدرها 0,82. احسب :
أ) كم كيلوواط تعطيها التوربينة؟ ب) كم كيلوواط يعطيها المولد؟ ج) بكم أمبير يمكن تحميل المولد؟

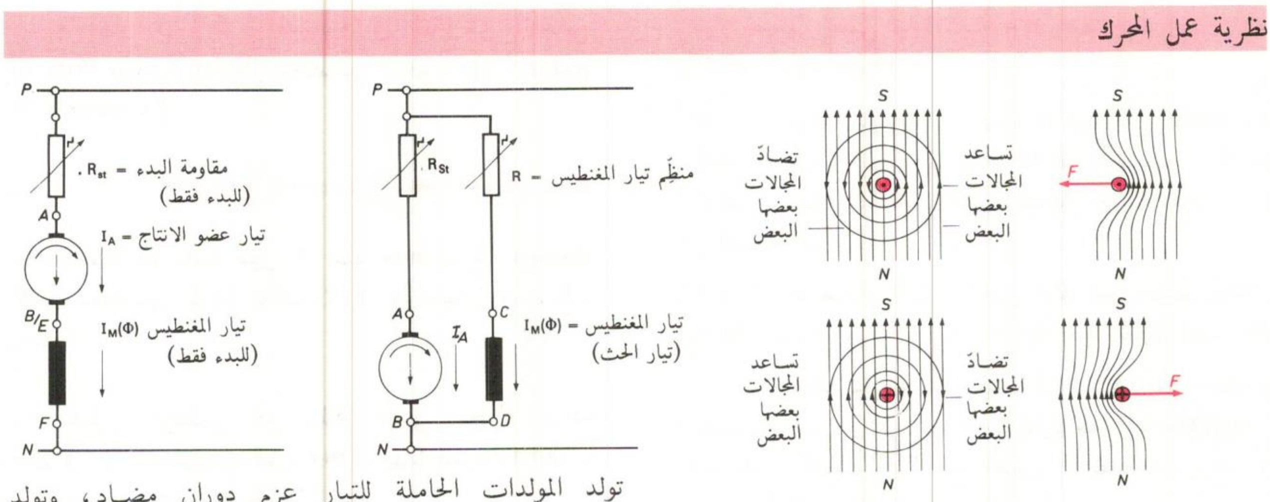
٤٣ – ١٦ قصرت دائرة مولد ذي جهد دائرة مفتوحة قدره 245 V ومقاومته الداخلية 0,15 Ω بطريق الخطأ . ما مقدار كل من تيار دائرة القصر والهبوط الداخلي للجهد ؟ إذا أهملت مقاومة موضع دائرة القصر .

٤٣ – ١٧ يولد مولد تيار مستمر ، ذو إثارة خارجية ومزود بمقاومة عضو إنتاج $R_a$=0,35 Ω ، ق.د.ك. 468 V. ما مقدار الجهد U على أطراف المولد ، إذا أعطي التيار الإسمي I=80 A للشبكة ؟ ما هي النسبة بين القدرة المستفادة وقدرة الإثارة ، إذا سحبت لفيفة الإثارة 2,5 A عند التوصيل على جهد 120 V ؟

٤٣ – ١٨ احسب المعطيات الناقصة لقيم التشغيل وقيم المكنة للمولدات بالجدول التالي :

| | ق.د.ك (V) | جهد الأطراف U (V) | مقاومة عضو الإنتاج $R_a$ (Ω) | تيار عضو الإنتاج $I_A$ (A) |
|---|---|---|---|---|
| أ ) | 245 V | ? V | 0,15 Ω | 100 A |
| ب) | 230 V | 210 V | 0,4 Ω | ? A |
| ج) | 120 V | 110 V | ? Ω | 40 A |
| د ) | ? V | 440 V | 0,16 Ω | 180 A |

## نظرية عمل المحرك




موصل حامل للتيار يتحرك في مجال مغنطيسي ، ما مقدار قوة التنافر F ؟

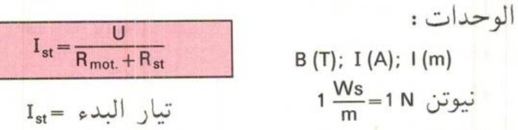
الوحدات :

B (T); I (A); l (m)

$1\,\frac{Ws}{m} = 1\,N$ نيوتن

$F = B \cdot I \cdot l$ N

تولد المولدات الحاملة للتيار عزم دوران مضاد ، وتولد المحركات أثناء الحركة ق.د.ك . مضادة . تحد مقاومة بدء الحركة من التيار :



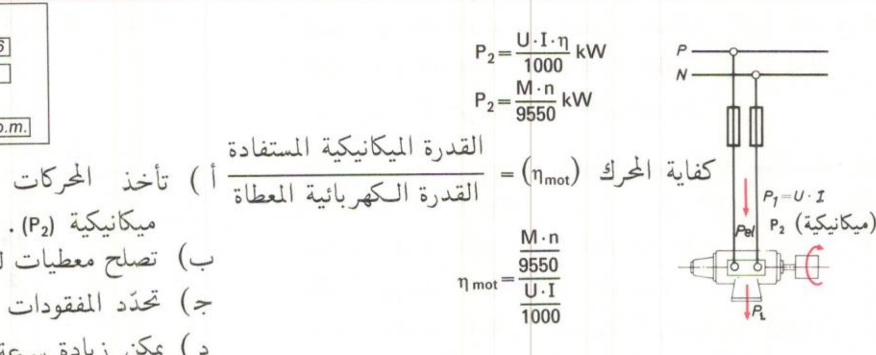
$I_{st} = \frac{U}{R_{mot.} + R_{st}}$

$I_{st} =$ تيار البدء

$I_{st} < 1{,}7 \cdot I_N$

$R_{mot} =$ مقاومة المحرك

## القدرة - الكفاية




$P_2 = \frac{U \cdot I \cdot \eta}{1000}$ kW

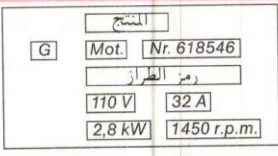
$P_2 = \frac{M \cdot n}{9550}$ kW

كفاية المحرك $(\eta_{mot}) = \frac{\text{القدرة الميكانيكية المستفادة}}{\text{القدرة الكهربائية المعطاة}}$

$\eta_{mot} = \frac{\frac{M \cdot n}{9550}}{\frac{U \cdot I}{1000}}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$

$P_l = P_1 - P_2$



| | | |
|---|---|---|
| | المنتج | |
| G | Mot. | Nr. 618546 |
| | رمز الطراز | |
| 110 V | 32 A | |
| 2,8 kW | 1450 r.p.m. | |

أ ) تأخذ المحركات طاقة كهربائية ($P_1$) وتعطي طاقة ميكانيكية ($P_2$) .

ب) تصلح معطيات لوحة القدرة لحالة التشغيل الإسمي فقط .

ج) تحدّد المفقودات الكلية $P_l$ الكفاية كما في المولد .

د ) يمكن زيادة سرعة الدوران عن سرعة الدوران الإسمية بواسطة مقاومة ضبط تيار المغنطيس ، كما يمكن خفضها لأقل من سرعة الدوران الإسمية بواسطة مقاومة بدء الحركة المتغيرة .

## ق.د.ك . المضادة (العكسية) c.e.m.f. - حساب مقاومة بدء الحركة

طبقا لتعليمات VDE 0650 يجب التمييز بين :

بدء الدوران بنصف حمل = تيار البدء المتوسط $= I_{st}$ التيار الإسمي مضروبًا في 0,65

وبدء الدوران بحمل كامل = تيار البدء المتوسط $= I_{st}$ التيار الإسمي مضروبا في 1,3

بدء الدوران بتحميل زائد = تيار البدء المتوسط $= I_{st}$ التيار الإسمي مضروبا في 1,7

حساب مقاومة بدء الحركة :

محرك بلفائف توازٍ (PW):

$I = I_A + I_M \approx I_A$

$U = I_A \cdot R_a + \text{c.e.m.f.}$

$R_{st} = \frac{U}{I_{st}} - R_a$

محرك بلفائف توالٍ (SW):

$I = I_A = I_M$

$U = I \cdot (R_a + R_M) \dotplus \text{c.e.m.f.}$

$R_{st} = \frac{U}{I_{st}} - (R_a + R_M)$

أ ) في العضو الدوار تستحث ق.د.ك . مضادة .

U
$U_i = I_A \cdot R_a$ | c.e.m.f.

ب) فتكون ق.د.ك . المضادة أصغر من جهد الشبكة U بمقدار هبوط الجهد $I_A \cdot R_a$ (تيار عضو الانتاج × مقاومة عضو الإنتاج)

ج) وتقوم مقاومة بدء الحركة بوظيفة ق.د.ك . المضادة غير الموجودة عند البدء حتى يصل عضو الإنتاج إلى سرعة الدوران اللازمة .

$\text{c.e.m.f.} = U - (I_A \cdot R_a)$

ق.د.ك . المضادة = c.e.m.f.

تمرينات

٤٤ — ١ بأية قوة يدفع موصل طوله 0,45 m في مجال مغنطيسي كثافة تدفقه 0,1 T، إذا مر فيه تيار 35 A؟

٤٤ — ٢ يراد التأثير بقوة 1,5 N على موصل طوله 20 cm في مجال ذي كثافة تدفق قدرها 0,7 T فما قيمة التيار I اللازمة؟

٤٤ — ٣ ما مقدار كثافة التدفق المغنطيسي اللازمة لكي تصل قوة الدفع إلى 3 N على سلك طوله 0,32 m ويمر به تيار شدته 24 A؟

٤٤ — ٤ ما هو الطول اللازم لموصل لكي تبلغ القوة المؤثرة عليه F=13,2 N عند تيار I=25 A وكثافة تدفق B=0,8 T؟

٤٤ — ٥ مجال مغنطيسي كثافة تدفقه 0,8 T به 40 موصلا طول كل منها 0,25 m ويمر فيها تيار شدته 8 A. فإذا وجد دائما 85% من الأسلاك في آن واحد تحت الأقطاب في المجال المغنطيسي، ما مقدار القوة المؤثرة؟

٤٤ – ٦ محرك تيار مستمر بياناته كالآتي:

$B=12\ T,\ l=0,5\ m,\ I=2\ A,\ \eta=80\%$

ما هو عدد الموصلات اللازمة لكي تصل قوة الدفع في عضو الإنتاج إلى 50 daN؟

٤٤ — ٧ عضو الإنتاج بمحرك تيار مستمر به 35 سلكا في كل مجرى طول كل منها 0,25 m. ما هي القوة المؤثرة على الأسلاك لكل مجرى عند كثافة تدفق قدرها 0,8 T إذا مر بها تيار 12 A؟ وإلى أي قيمة تنخفض القوة إذا انخفضت كثافة التدفق بمقدار 12%؟

٤٤ – ٨ عضو إنتاج يعمل بالتيار المستمر طوله 150 mm وقطره 230 mm وعدد أسلاكه 500 وكثافة التدفق B=0,8 T والتيار بعضو الإنتاج I=10 A. ويوجد 70% من الأسلاك في آن واحد تحت الأقطاب. احسب: أ) القوة F ب) عزم الدوران $M=F\cdot r\ (Nm)$ عند محيط عضو الإنتاج.

٤٤ — ٩ البيانات المعلومة عن محرك تيار مستمر هي: قطر عضو الإنتاج d=185 mm وكثافة التدفق المغنطيسي في الثغرة الهوائية B=0,52 T وطول الموصل في عضو الإنتاج تحت مجال القطب 12 cm وعدد أسلاك عضو الإنتاج في مدى مجال القطب =480. وتأخذ شدة التيار في موصل عضو الإنتاج القيم التالية:

أ) عند تشغيل الدائرة المفتوحة: التيار $I_o=3,2\ A$

ب) عند التشغيل بالتحميل الإسمي: التيار I=20 A

ج) عند البدء بحمل زائد: التيار $I_{st}=30\ A$

احسب لحالات السابقة:

١ – قوة الشد $F_o\ (N)$ لموصل واحد بعضو الإنتاج.

٢ – قوة الشد $F=F_o\cdot N$، حيث N تساوي 480 موصلا في عضو الإنتاج بفرض أن F يجب أن تكون مماسة لسطح عضو الإنتاج.

٣ — عزم الدوران المناظر $M=F\cdot r\ (Nm)$

٤٤ — ١٠ احسب كفاية المحرك والفقد بالواط وبالنسبة المئوية من المعطيات التالية:

| | القدرة المعطاة للمحرك ($P_1$) | القدرة المستفادة من المحرك ($P_2$) |
|---|---|---|
| أ) | 6 600 W | 5,5 kW |
| ب) | 11,8 kW | 10 kW |
| ج) | 14 kW | 12 kW |
| د) | 11 000 W | 8,8 kW |
| هـ) | 0,84 kW | 590 W |
| و) | 2,4 kW | 1750 W |

٤٤ – ١١ احسب القيم الناقصة من المعطيات المأخوذة من قائمة لمحركات التيار المستمر.

| | القدرة المستفادة من المحرك ($P_2$) | القدرة المعطاة للمحرك ($P_1$) (kW) | الكفاية ($\eta$) |
|---|---|---|---|
| أ) | 1,18 kW | ? | 77% |
| ب) | 2,8 kW | 3,5 | ?% |
| ج) | ? kW | 9,2 | 83% |
| د) | 6,25 kW | ? | 0,83 |
| هـ) | 2,8 kW | 3,6 | ? |
| و) | ? kW | 2,5 | 88% |

٤٤ – ١٢ احسب القيم الناقصة في معطيات لوحة القدرة والتشغيل.

| | جهد المحرك (U) (V) | التيار المسحوب (I) (A) | القدرة المعطاة للمحرك ($P_1$) (kW) | القدرة المستفادة من المحرك ($P_2$) | الكفاية ($\eta$) |
|---|---|---|---|---|---|
| أ) | 440 | 57,5 | ? | 22 kW | ? |
| ب) | 440 | ? | 27,9 | ? kW | 0,87 |
| ج) | ? | 112 | ? | 5,5 kW | 0,82 |
| د) | 220 | 80 | ? | 15 kW | ? |
| هـ) | 110 | 273 | ? | ? kW | 86,5% |

٤٤ — ١٣ يراد استبدال محرك ديزل 62,5 kW بمحرك تيار مستمر 600 V ذي كفاية 92%. لأي تيار يجب أن تعد مجموعة توصيل المحرك؟

٤٤ – ١٤ احسب: أ) التيار المسحوب ب) الكفاية ج) الفقد لمحرك تيار مستمر يعمل على 750 V ويأخذ عند لوحة الأطراف 85 kW ويعطي عند عمود الإدارة 77 kW.

٤٤ — ١٥ احسب الكفاية والفقد بالواط لمحرك تيار مستمر 220 V يعطي عند عمود الإدارة 3,7 kW عند التحميل الإسمي ويسحب عند لوحة الأطراف 20 A. ما مقدار الشغل الكهربائي المستهلك لزمن تشغيل قدره 12 ساعة؟

٤٤ – ١٦ محرك تيار مستمر 440 V يعطي عند عمود الإدارة 11 kW بكفاية قدرها 85%. ما مقدار شدة التيار في خط التغذية عند الحمل الكامل وعند نصف حمل، إذا انخفضت الكفاية بمقدار 8% ؟

٤٤ – ١٧ يعطي محرك تيار مستمر قدرة متوسطة قدرها 2,2 kW في 120 h تشغيل في الشهر بكفاية 0,8. كم تبلغ تكاليف التشغيل السنوية لسعر شغل قدره 0,065 SR/kWh ؟

٤٤ – ١٨ بيانات محرك تيار مستمر هي: $220\ V,\ 30\ kW,\ \eta = 0{,}78$ يشغل يوميا بالتحميل التالي: لمدة 5 h 15 min بتحميل 100% و 4 h 42 min, بتحميل 50%. احسب التكلفة الشهرية (باعتبار الشهر 24 يوم عمل) وبتعريفة 0,08 SR/kWh.

٤٤ – ١٩ ما هو الزمن الذي يمكن لمحرك تيار مستمر قدرته 4,4 kW وكفايته 0,75 وجهد أطرافه 220 V أن يشغل فيه بالقدرة الإسمية لتبلغ تكلفة التشغيل 15 SR بتعريفة 0,08 SR/kWh.

٤٤ – ٢٠ يحتوي الجدول التالي على معطيات لوحة القدرة والتشغيل لمحركات مختلفة تعمل بالتيار المستمر. احسب الكميات الناقصة في حساب التكلفة.

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الجهد U (V) | 440 V | 220 V | 440 V | | 110 V | |
| التيار I (A) | 12 A | 28,5 A | | 80,5 A | | 59 A |
| القدرة المعطاة $P_1$ للمحرك | | | 7,5 kW | 17,7 kW | | 26 kW |
| القدرة المستفادة منه $P_2$ (kW) | | | | | 22 kW | 22 kW |
| الكفاية $\eta$ | 82% | 0,72 | 78% | 0,87 | 70% | |
| مدة التوصيل t | 2 h 20 min | 318 min | $6\frac{3}{4}$h | | $10\frac{1}{4}$h | |
| الشغل المستهلك W (kWh) | | | | | | |
| السعر لكل kWh | 0,9 SR | 12 HL | 0,085 SR | 0,09 SR | 10 HL | 0,12 SR |
| تكلفة التشغيل | | | | 25 SR | | 9,36 SR |

٤٤ – ٢١ تعمل ثلاثة محركات في ورشة ميكانيكية، المحرك $M_1$ كفايته 76% وقدرته 6 kW والمحرك $M_2$ كفايته 0,72 وقدرته 5,5 kW والمحرك $M_3$ كفايته 0,85 وقدرته 10 kW.

احسب:

أ) تيارات المحركات

ب) التيار الكلي I عند جهد U = 220 V.

ج) الشغل المعطى للمحركات في اليوم إذا شغّلت كالتالي: $M_1$ لمدة 3/4 h، $M_2$ لمدة 4 h 20 min، $M_3$ لمدة 38 min.

٤٤ – ٢٢ محرك تيار مستمر بياناته المعلومة هي: $U_A = 220\ V$ ومقاومة عضو الإنتاج $R_a = 0{,}75\ \Omega$ وتيار عضو الإنتاج عند الحمل الكامل $I_A = 12\ A$. احسب: أ) ق.د.ك. المضادة في عضو الإنتاج عند الحمل الكامل للمحرك ب) فقد القدرة في عضو الإنتاج بالواط.

٤٤ – ٢٣ احسب ق.د.ك. المضادة (c.e.m.f.)، والقدرة في عضو الإنتاج لكل حالة بالجدول التالي:

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جهد عضو الانتاج U (V) | 220 | 110 | 440 | 110 | 220 | 500 |
| مقاومة عضو الإنتاج $R_a$ (Ω) | 0,25 | 0,9 | 0,65 | 0,55 | 0,82 | 0,75 |
| تيار عضو الإنتاج $I_A$ (A) | 25 | 6 | 22 | 12,5 | 15,3 | 30 |

٤٤ – ٢٤ محرك تيار مستمر بلفائف توصيل على التوازي يعمل على جهد 440 V وتبلغ مقاومة عضو إنتاجه 0,3 Ω ويسحب عضو الإنتاج عند التحميل الإسمي تيارا قدره 100 A. احسب ق.د.ك. المضادة، ووضح الحل برسم توضيحي.

P — U = 440 V — N

$U_1$ = ?V — (c.e.m.f.) = ?V

M: 1mm ≙ 5V

٤٤ – ٢٥ يدور المحرك المذكور في المسألة السابقة عند التحميل الإسمي بسرعة 1450 r.p.m. احسب سرعة الدوران بدون حمل إذا بلغ تيار عضو الإنتاج 5 A في حالة اللاحمل.

الحل: ق.د.ك المضادة للاحمل $E_c$:

$E_c$ (لا حمل) $= U - U_1 = U - (I_A \cdot R_a) =$

$= 440\ V - (5\ A \cdot 0{,}3\ \Omega) = 438{,}5\ V$

ق.د.ك. المضادة بالتحميل الأسمي $E_c$:

$E_c$ (بالتحميل الإسمي) $= U - U_1 = U - (I_A \cdot R_a) =$

$= 440\ V - (100\ A \cdot 0{,}3\ \Omega) = 410{,}0\ V$

سرعة دوران اللاحمل / سرعة الدوران الإسمية = $E_c$ (للاحمل) / $E_c$ (بالتحميل الإسمي) ؛ $\frac{X}{1450} = \frac{438{,}5}{410{,}0}$

سرعة دوران اللاحمل:

$= 1450\ r.p.m. \cdot \frac{438{,}5}{410{,}0} = 1550\ r.p.m.$

٤٤ – ٢٦ احسب طبقا للمسألة السابقة عدد اللفات لتيار في عضو الإنتاج شدته: أ) 20 A ب) 40 A ج) 80 A.

٤٤ – ٢٧ يسحب محرك توالٍ للتيار المستمر (SW) قدرته 22 kW تيارا في عضو الإنتاج قدره 62 A وعند التحميل الإسمي على 440 V وتبلغ مقاومة عضو الإنتاج $R_a = 0{,}35\ \Omega$ ومقاومة لفيفة المغنطيس $R_M = 0{,}5\ \Omega$.

احسب: أ) كفاية المحرك عند التحميل الإسمي ب) فقد الجهد والقدرة في لفيفة عضو الإنتاج ج) فقد الجهد والقدرة في لفيفة المغنطيس د) الفقد الكلي للقدرة كنسبة مئوية من القدرة المعطاة للمحرك.

٤٤ – ٢٨ محرك تواز للتيار المستمر (PW) يعمل على 220 V عند كفاية $\eta = 0{,}86$ ويسحب أثناء التشغيل الإسمي تيارا قدره 28 A. أعطيت قيمة تيار الإثارة بمقدار 6% من التيار الإسمي.

احسب: أ) القدرة عند عمود الإدارة $P_2$ بالكيلوواط ب) تيار الإثارة وقدرة الإثارة ج) مقاومة لفيفة المغنطيس د) فقد القدرة في لفيفة الإثارة كنسبة مئوية من القدرة المعطاة للمحرك عند لوحة الأطراف.

٤٤ – ٢٩ البيانات المعلومة عن محرك تواز (PW) قدرته 6,62 kW هي: $U = 220\ U;\ \eta = 82\%;\ R_a = 0{,}7552\ \Omega;\ R_M = 120\ \Omega$

احسب للتشغيل الإسمي للمحرك: أ) التيار الإسمي I ب) الفقد في القدرة في لفيفة عضو الانتاج ج) فقد القدرة في لفيفة المغنطيس د) تيار الإثارة بالامبير وكنسبة مئوية من التيار الإسمي.

## بادئ الحركة – مقاومة ضبط تيار المغنطيس

٤٤ – ٣٠ محرك تيار مستمر يعمل على 220 V بإثارة خارجية ومقاومة عضو إنتاجه هي $R_a = 0{,}45\,\Omega$ وتبلغ مقاومة خط تغذيته بما فيه أجهزة الوصل $0{,}15\,\Omega$. ما مقدار التيار $I_A$ عند التوصيل المباشر بدون بادئ حركة؟

٤٤ – ٣١ احسب قيمة الهبوط في تيار الوصل إذا زيدت مقاومة دائرة عضو الإنتاج عن طريق مقاومة بدء الحركة إلى عشرة أمثال قيمتها؟

٤٤ – ٣٢ محرك تيار مستمر بلفائف موصلة على التوازي بياناته المعلومة هي: $U = 110\,V,\ I_A = 32\,A,\ R_a = 0{,}3\,\Omega$، وبفرض أن المحرك يبدأ الدوران بالتيار الإسمي، احسب: أ) فقد الجهد $U_e$ ب) ق.د.ك. المضادة ج) مقاومة بدء الحركة ($R_{st}$).

الحل

$U_l = I_A \cdot R_a = 32\,A \cdot 0{,}3\,\Omega = 9{,}6\,V$

$U = E_c + U_l;\ E_c = U - U_l = 110\,V - 9{,}6\,V = 100{,}4\,V$

مقاومة بادئ الحركة ($R_{st}$):

$R_{st} = \frac{E_c}{I_A} = \frac{100{,}4\,V}{32\,A} = \underline{3{,}14\,\Omega}$

حل آخر للجزء (ج): $R_{st} = \frac{U}{I_A} - R_a = \frac{110\,V}{32\,A} - 0{,}3\,\Omega = \underline{3{,}14\,\Omega}$

٤٤ – ٣٣ احسب مقاومة بدء الحركة $R_{st}$ للمحرك في المسألة السابقة إذا كان: أ) بدء الدوران بنصف حمل ب) بدء الدوران بحمل كامل ج) بدء الدوران بحمل زائد (انظر تعليمات VDE 0650 صفحة ١٠٨)

٤٤ – ٣٤ محرك تيار مستمر بلفائف موصلة على التوازي بياناته هي: 220 V وتيار عضو الإنتاج الإسمي 20 A و $\eta = 0{,}78$ و $R_a = 0{,}25\,\Omega$. احسب: أ) قيمة مقاومة بدء الحركة إذا وجب ألا تتعدى القيمة العظمى للتيار عند بدء الدوران 1,7 مرة مثل التيار الإسمي ب) زمن استخدام بادئ الحركة للمحرك طبقا للصيغة الرياضية: $t = 4 + 2\sqrt{P_{kW}}\ (s)$

٤٤ – ٣٥ القيم الإسمية لعضو الإنتاج في محرك تيار مستمر هي: $U = 440\,V;\ I = 100\,A;\ R_a = 0{,}3\,\Omega;\ \eta = 0{,}8$

يراد تعيين سرعة وزمن بدء الدوران بحمل كامل لمقاومة بدء حركة مستوية الملامسات بالإستعانة بمعطيات الجدول التالي.

| مأخوذ من | نوع بدء الدوران | ١ | ٢ |
|---|---|---|---|
| بند 22 لتعليمات VDE 0650: | | | |
| «حمل بدء التشغيل» | بنصف حمل | 0,65 | 0,75 |
| القيم العادية للنسبة $\frac{I_{m\,(st)}}{I}$ | بحمل كامل | 1,3 | 1,5 |
| حيث I= التيار الإسمي | بحمل زائد | 1,7 | 2,0 |
| $I_{m\,(ts)}$ = تيار بدء الدوران المتوسط | | | |

١ – مقاومات بدء حركة مستوية الملامسات أو ذات تلامس داري.

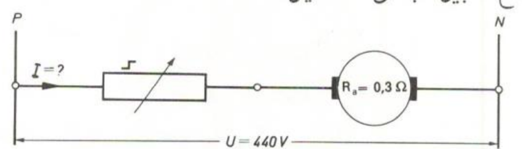
٢ – مقاومات بدء حركة هيدروليكية ومقاومات بدء الحركة الدلفينية (أسطوانية).

الحل: $R_{st} = \frac{U}{I_{st}} - R_a = \frac{440\,V}{100\,A \cdot 1{,}3} - 0{,}3\,\Omega = \underline{3{,}08\,\Omega}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1};\ P_2 = \eta \cdot P_1 = 0{,}8 \cdot 440\,V \cdot 100\,A = 35{,}2\,kW$

$t = 4 + 2\sqrt{P_{kW}} = 4 + 2\sqrt{35{,}2} \approx \underline{16\,s}$

٤٤ – ٣٦ ما مقدار التيار في عضو الإنتاج، عند وضع السكون للوضع المبين لبادئ التشغيل؟




٤٤ – ٣٧ احسب للمحرك، في المسألة ٤٤ – ٣٥، قيمة R لمقاومة بدء حركة مستوية الملامسات عند: أ) بدء الدوران بنصف حمل ب) بدء دوران بحمل زائد.

٤٤ – ٣٨ عين مقاومة بدء حركة مستوية الملامسات للمحركات ذات القيم التالية: أ) $U = 440\,V;\ I = 82\,A;\ R_a = 0{,}42\,\Omega$ ب) $U = 220\,V;\ I = 34\,A;\ R_a = 0{,}32\,\Omega$ ج) $U = 110\,V;\ I = 40\,A;\ R_a = 0{,}22\,\Omega$ لأنواع بدء الدوران: (١) بنصف حمل بنسبة 0,65. (٢) بحمل كامل بنسبة 1,3. (٣) بحمل زائد بنسبة 1,7.

٤٤ – ٣٩ محرك تيار مستمر بلفائف متصلة على التوازي بياناته: $U = 220\,V,\ P = 8{,}5\,kW,\ R_a = 0{,}35\,\Omega$، عند الحمل الكامل، به فقد 360 W في رقائق حديد عضو الإنتاج وفقد 90 W في الفرش وفقد 115 W نتيجة للاحتكاك وفقد 695 W في نحاس عضو الإنتاج وفقد 242 W في مجال المغنطيس.

احسب: أ) الفقد الكلي بالكيلوواط ب) القدرة المعطاة للمحرك ج) الكفاية د) التيار في عضو الإنتاج $I_A$ ه) تيار المجال $I_M$ و) فقد المجال $L_M$ كنسبة مئوية من $P_1$ ز) مقاومة بدء حركة مستوية الملامسات لبدء الدوران بحمل كامل ومثل النتائج بيانيا.

٤٤ – ٤٠ محرك ذو لفائف موصلة على التوازي بياناته هي: $220\,V;\ 6\,kW;\ I = 33{,}5\,A;\ L_M = 280\,W;\ L_A = 540\,W$

($L_M$= الفقد في المغنطيس، $L_A$= الفقد في عضو الإنتاج) احسب:

أ) تيار المغنطيس ($I_M$) ب) تيار عضو الانتاج ($I_A$) ج) الكفاية ($\eta$)
د) الجهد المفقود ($U_l$) في عضو الإنتاج ه) مقاومة عضو الإنتاج ($R_a$)
و) ق.د.ك. المضادة ($E_c$) ز) مقاومة بدء حركة مستوية الملامسات لبدء الدوران بحمل زائد
ح) زمن استخدام بادئ الحركة.

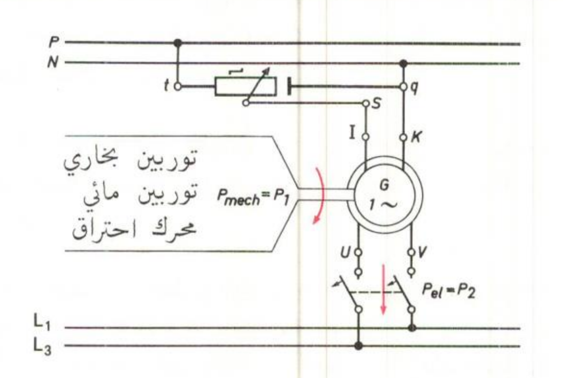
٤٤ – ٤١ محرك ذو لفائف موصلة على التوالي: $3{,}6\,kW;\ 220\,V;\ \eta = 0{,}72;\ R_a = 2{,}5\,\Omega;\ R_M = 1{,}8\,\Omega$

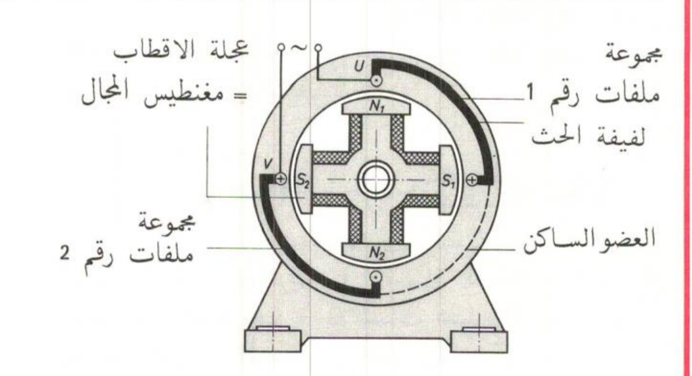
احسب مقاومة بدء الحركة الدلفينية لبدء الدوران: أ) بنصف حمل ب) بحمل كامل ج) بحمل زائد.

٤٤ – ٤٢ محرك ذو لفائف موصلة على التوازي: 220 V, 5 kW تبلغ القدرة المستهلكة بواسطة لفيفة المغنطيس به 7% من القدرة الإسمية. يراد التحكم في سرعة الدوران بواسطة مقاومة ضبط تيار المغنطيس وذلك بخفض التيار $I_M$ في لفيفة المغنطيس بمقدار 20%. احسب:

أ) التيار والقدرة المستهلكة بواسطة لفيفة المغنطيس قبل توصيل مقاومة ضبط تيار المغنطيس
ب) قيمة مقاومة ضبط تيار المغنطيس.

## القدرة — الكفاية




أ ) تصنع مولدات التيار المتردد للجهود العالية (من 6 kV إلى 20 kV) وللقدرات الكبيرة (حتى 200 000 kVA) كمكنات ذات أقطاب دوارة لضمان خفض التيار أثناء التشغيل.

ب) يستمد التيار المستمر اللازم للإثارة الخارجية لمولد التيار المتردد من بطارية أو من مقوم قدرة أو من مولد بلفائف موصلة على التوازي (110 V أو 220 V).

جـ) توصل جميع الملفات المنتمية إلى مجموعة اللفائف الواحدة على التوالي.

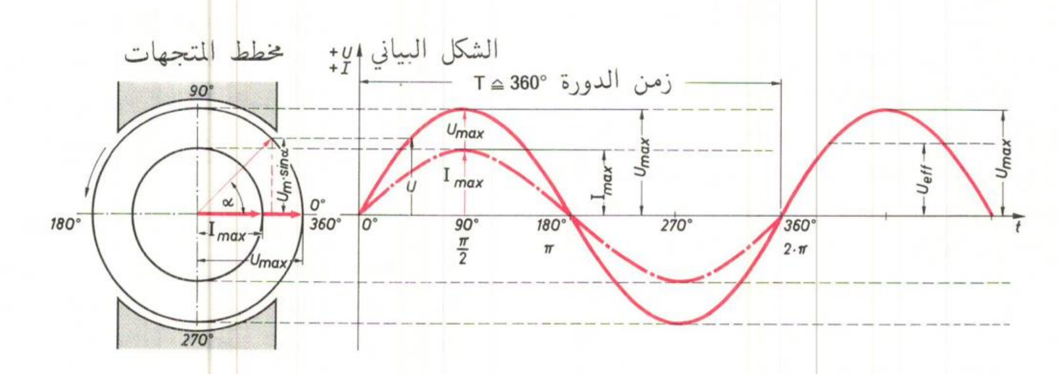
د ) ولما كان معامل القدرة جتا φ (cos φ) يعتمد على نوع التحميل (أحمال أومية أو حثية أو سعوية) فإن المعطيات للمولد تحتوي على القدرة الإسمية وتساوي القدرة الظاهرية للمولد :

$$S = U \cdot I \quad \text{VA}$$

هـ) تؤخذ قدرة الإدارة اللازمة ($P_1$) من محرك احتراق داخلي أو من توربين بخاري أو مائي. يجب أن تغطي القدرة المعطاة للمحرك القدرة الفعالة المستفادة منه والفقد (فقد النحاس والحديد) في المولد.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

## التردد — عدد الأقطاب — القيمة العظمى — القيمة الفعالة — القيمة اللحظية




أ ) توجد علاقة قوية بين سرعة الدوران n للمولد التزامني وتردد الجهد المستحث f.

ب) يعتمد التردد f على عدد أزواج الأقطاب وعلى سرعة الدوران التي تتحرك بها عجلة الأقطاب.

n = سرعة الدوران (r.p.m.)

p = عدد أزواج الأقطاب

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad \text{Hz}$$

جـ) يقابل كل وضع لعجلة الأقطاب قيمة لحظية معينة للجهد والتيار ويمكن إيجاد الجهد اللحظي المستحث عند كل زاوية دوران α من القيمة العظمى لنصف دورة :

$$U = U_{max} \cdot \sin\alpha \quad \text{V}$$

$U_{max}$ = القيمة العظمى = أكبر قيمة لحظية

α = زاوية الدوران

تنتج القيمة الفعالة (القيمة المؤثرة) للجهد أو للتيار من القيمة العظمى :

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{1{,}41} \quad \text{V} \qquad I_{eff} = \frac{I_{max}}{1{,}41} \quad \text{A}$$

٤٥ – ١ حوّل إلى هيرتز (Hz):

أ) 0,8 kHz ب) 3,5 MHz ج) 520 MHz د) 6,5 kHz
هـ) 0,9 MHz و) 0,05 kHz

٤٥ – ٢ ما هو زمن الدورة للترددات التالية:

أ) f=50 Hz ب) f=800 Hz ج) f=10 kHz د) f=0,8 MHz

٤٥ – ٣ اوجد القيم العظمى ($U_{max}$) للجهود الفعالة (U) التالية:

أ) 24 V ب) 42 V ج) 60 V د) 110 V هـ) 125 V
و) 220 V ز) 380 V ح) 1,2 kV

٤٥ – ٤ اوجد القيم الفعالة ($U_{eff}$) للجهود العظمى ($U_{max}$) التالية:

أ) 6 V ب) 50 V ج) 120 V د) 600 V هـ) 0,8 kV
و) 1,3 kV ز) 20 kV

٤٥ – ٥ يعطي مولد تيار متردد 25 A للشبكة. ما هي القيمة العظمى لهذا التيار؟

٤٥ – ٦ تبلغ القيمة العظمى لجهد مولد تيار متردد 0,705 kV اوجد الجهد الذي يبينه جهاز قياس ذو قلب حديدي متحرك؟

٤٥ – ٧ احسب القيم اللحظية لمولد تيار متردد ذي القيمة العظمى 300 V، لزوايا الدوران التالية:

أ) 20° ب) $\frac{\pi}{4}$ ج) 50° د) 68° هـ) 80° و) $\frac{\pi}{2}$
ز) 14° ح) 32°

٤٥ – ٨ احسب القيم اللحظية لتيار متردد ذي قيمة عظمى $I_{max}=5$ A لزوايا الطور: أ) 0° ب) 30° ج) 50° د) 90°

٤٥ – ٩ احسب التردد الناتج من مولد تيار متردد ذي قطبين (p=1) عند سرعات الدوران: أ) 300 ب) 1000 ج) 1500 د) 2 400 هـ) 3 000 و) 3 600 دورة في الدقيقة (r.p.m.).

٤٥ – ١٠ تولد مولدات ترددا قدره 50 Hz. احسب سرعة الدوران اللازمة لإدارة كل منها إذا بلغ عدد الأقطاب لكل منها:

أ) 12 قطبا ب) 14 قطبا ج) 16 قطبا د) 20 قطبا هـ) 24 قطبا.

٤٥ – ١١ بكم زوج من الأقطاب يجب تجهيز المولدات الأحادية الطور التالية، إذا أريد لسرعة الدوران عند التردد f=50 Hz أن تبلغ:

أ) 3 000 ب) 1500 ج) 1000 د) 750 هـ) 600 دورة في الدقيقة (r.p.m.)؟

٤٥ – ١٢ يراد المحافظة على التردد f=50 Hz، بتفاوت مسموح قدره ±1,5% في مولد تيار متردد ذي أربعة أزواج من الأقطاب (p=4). بين أي قيمتين يجب أن تقع سرعة دورانه؟

٤٥ – ١٣ بأي سرعة دوران يجب إدارة مولد أحادي الطور ذي 12 قطبا ويستخدم بالخطوط الحديدية لإنتاج تردد قدره $16\frac{2}{3}$ Hz؟ وإلى أي قيمة وبأي نسبة مئوية ينخفض التردد، إذا نقصت سرعة الدوران بنسبة 8% عن القيمة المفروضة؟

٤٥ – ١٤ إذا رفع مولد تيار متردد، ذو 16 قطبا، ترددا من 50 Hz إلى 54,5 Hz. احسب النسبة المئوية لزيادة سرعة الدوران.

٤٥ – ١٥ مولد أحادي الطور قيمه الإسمية: 100 kVA، 220 V/50 Hz، ومعامل قدرته cos φ=0,75. احسب القدرة الفعالة التي يمكن أن يعطيها المولد؟ ما هي القدرة التي يأخذها المولد عند عمود إدارته إذا بلغت كفايته 90%.

الحل: $P_2 = S_2 \cdot \cos\varphi = 100\ \text{kVA} \cdot 0{,}75 = 75\ \text{kW}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1};\quad P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{75\ \text{kW}}{0{,}9} = \underline{83{,}4\ \text{kW}}$

٤٥ – ١٦ ما هي القدرة الفعالة، التي يعطيها مولد أحادي الطور بالقيم الإسمية: 220 V, 50 kVA إلى الشبكة، عند معامل قدرة (cos φ) مساو لما يلي: أ) 0,62 ب) 0,75 ج) 0,86؟

٤٥ – ١٧ يدير محرك ديزل مولد تيار متردد بقدرة 18,4 kW. احسب القدرة الفعالة التي يعطيها المولد بكفاية قدرها 0,8. ما هي الصفة المميزة للمولد من ناحية القدرة، إذا ضبط معامل القدرة على القيمة cos φ=0,85 عند تحميله حثيا؟

٤٥ – ١٨ صمم مولد أحادي الطور للقيم الإسمية التالية: الجهد U=6 kV وشدة التيار I=300 A:

أ) ما هي الصفة المميزة له من ناحية القدرة ب) اوجد قدرة إدارة المولد عند تحميله أوميا عند: cos φ=1 و η=0,9 ج) ما هي قدرة الإدارة اللازمة لتحميل حثي عند cos φ=0,7 و η=0,8.

٤٥ – ١٩ مولد أحادي الطور، ينتج جهدا إسميا قدره 230 V ومدار بقدرة 22 kW. عندما كانت cos φ=0,8، أعطى للشبكة 18 kW: أ) اوجد الكفاية التي يعمل بها المولد ب) بأي شدة تيار يحمل المولد؟

٤٥ – ٢٠ إذا أدير مولد قدرته 3 kW وكفايته 0,82، بواسطة توربين قدرته 110 kW. ما مقدار معامل القدرة الناتج، إذا بلغ تيار الحمل 36 A؟

٤٥ – ٢١ لوحة القدرة لمولد أحادي الطور مدون عليها البيانات التالية:

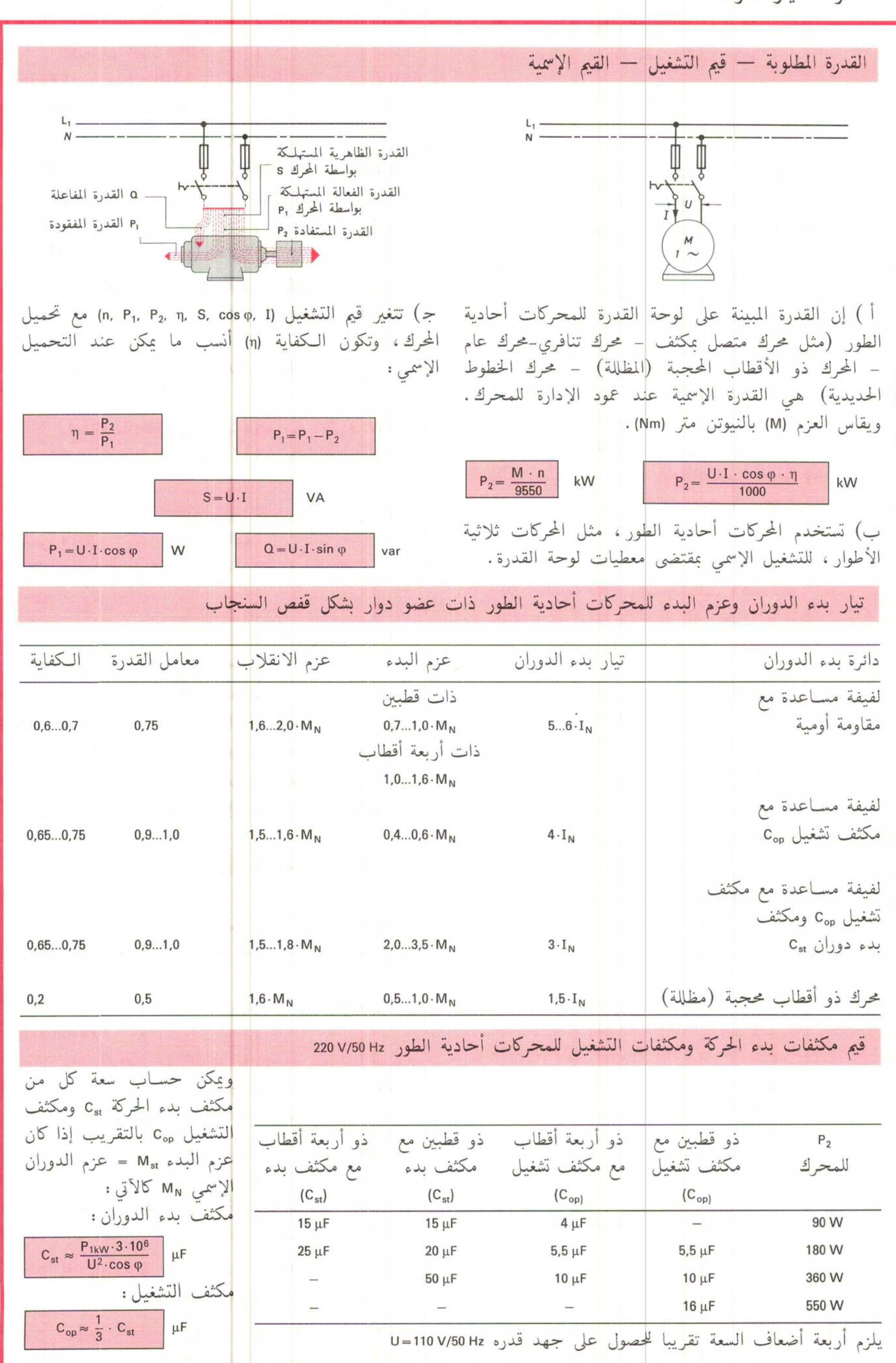
230 V; 82 A; cos φ=0,85; 3 000 r.p.m.; 50 Hz; $U_{exc}=220$ V; $I_{exc}=4$ A.

احسب: أ) عدد أزواج الأقطاب ب) الكفاية إذا أدير المولد بمحرك ديزل قدرته 20 kW محملا بحمل كامل للتيار والجهد ج) القدرة المأخوذة للفيفة الإستثارة د) النسبة بين القدرة المستفادة من المولد وقدرة الإثارة عند التشغيل الإسمي للمولد.

٤٥ – ٢٢ يدار مولد تيار متردد لوحدة قدرة طوارئ بواسطة محرك يعمل بالبنزين. وعند التشغيل قيس عند جهد أطراف U=230 V تيار تحميل I=28 A. بواسطة راسم الذبذبات تم تعيين إزاحة بين U و I قدرها φ=35°. ما هي القدرات الفعالة والمفاعلة والظاهرية التي يعطيها المولد للشبكة؟

٤٥ – ٢٣ احسب قيم الجدول الناقصة:

| | $P_1$ (kW) | U (V) | cos φ | η | $P_2$ (kW) | I (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| أ) | 1,84 | 230 | 0,72 | 0,7 | ? | ? |
| ب) | ? | 220 | 0,7 | 0,82 | 4 | ? |
| ج) | ? | 160 | ? | 0,72 | 12,5 | 110 |
| د) | 23,6 | 230 | 0,77 | ? | 18,2 | ? |
| هـ) | 2 240 | ? | 0,85 | 0,94 | ? | 414 |




## القدرة المطلوبة — قيم التشغيل — القيم الإسمية

أ ) إن القدرة المبينة على لوحة القدرة للمحركات أحادية الطور (مثل محرك متصل بمكثف - محرك تنافري-محرك عام - المحرك ذو الأقطاب المحجبة (المظللة) - محرك الخطوط الحديدية) هي القدرة الإسمية عند عمود الإدارة للمحرك . ويقاس العزم (M) بالنيوتن متر (Nm) .

$$P_2 = \frac{U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{1000} \quad \text{kW}$$

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9550} \quad \text{kW}$$

ب) تستخدم المحركات أحادية الطور ، مثل المحركات ثلاثية الأطوار ، للتشغيل الإسمي بمقتضى معطيات لوحة القدرة .

ج) تتغير قيم التشغيل $(n, P_1, P_2, \eta, S, \cos\varphi, I)$ مع تحميل المحرك ، وتكون الكفاية $(\eta)$ أنسب ما يمكن عند التحميل الإسمي :

$$P_l = P_1 - P_2$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$S = U \cdot I \quad \text{VA}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad \text{var}$$

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad \text{W}$$

## تيار بدء الدوران وعزم البدء للمحركات أحادية الطور ذات عضو دوار بشكل قفص السنجاب

| دائرة بدء الدوران | تيار بدء الدوران | عزم البدء | عزم الانقلاب | معامل القدرة | الكفاية |
|---|---|---|---|---|---|
| لفيفة مساعدة مع مقاومة أومية | $5...6 \cdot I_N$ | ذات قطبين $0,7...1,0 \cdot M_N$ ذات أربعة أقطاب $1,0...1,6 \cdot M_N$ | $1,6...2,0 \cdot M_N$ | 0,75 | 0,6...0,7 |
| لفيفة مساعدة مع مكثف تشغيل $C_{op}$ | $4 \cdot I_N$ | $0,4...0,6 \cdot M_N$ | $1,5...1,6 \cdot M_N$ | 0,9...1,0 | 0,65...0,75 |
| لفيفة مساعدة مع مكثف تشغيل $C_{op}$ ومكثف بدء دوران $C_{st}$ | $3 \cdot I_N$ | $2,0...3,5 \cdot M_N$ | $1,5...1,8 \cdot M_N$ | 0,9...1,0 | 0,65...0,75 |
| محرك ذو أقطاب محجبة (مظللة) | $1,5 \cdot I_N$ | $0,5...1,0 \cdot M_N$ | $1,6 \cdot M_N$ | 0,5 | 0,2 |

## قيم مكثفات بدء الحركة ومكثفات التشغيل للمحركات أحادية الطور 220 V/50 Hz

| $P_2$ للمحرك | ذو قطبين مع مكثف تشغيل $(C_{op})$ | ذو أربعة أقطاب مع مكثف تشغيل $(C_{op})$ | ذو قطبين مع مكثف بدء $(C_{st})$ | ذو أربعة أقطاب مع مكثف بدء $(C_{st})$ |
|---|---|---|---|---|
| 90 W | – | 4 µF | 15 µF | 15 µF |
| 180 W | 5,5 µF | 5,5 µF | 20 µF | 25 µF |
| 360 W | 10 µF | 10 µF | 50 µF | – |
| 550 W | 16 µF | – | – | – |

يلزم أربعة أضعاف السعة تقريبا للحصول على جهد قدره U = 110 V/50 Hz

ويمكن حساب سعة كل من مكثف بدء الحركة $C_{st}$ ومكثف التشغيل $C_{op}$ بالتقريب إذا كان عزم البدء $M_{st}$ = عزم الدوران الإسمي $M_N$ كالآتي :

مكثف بدء الدوران :

$$C_{st} \approx \frac{P_{1kW} \cdot 3 \cdot 10^6}{U^2 \cdot \cos\varphi} \quad \mu\text{F}$$

مكثف التشغيل :

$$C_{op} \approx \frac{1}{3} \cdot C_{st} \quad \mu\text{F}$$

٤٦ – ١ توجد على لوحة القدرة لمحرك غير متزامن، أحادي الطور، ذي أربعة أقطاب، المعطيات التالية:

220 V/50 Hz; n = 1450 r.p.m. احسب:

أ) سرعة الدوران التزامنية ب) التفويت (الانزلاق) في العضو الدوار عند التحميل الإسمي كنسبة مئوية ج) سرعة الدوران عند اللاحمل للمحرك، إذا بلغ التفويت عند اللاحمل 0,6%.

الحل:

أ) $n_F = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2}$ r.p.m. = 1500 r.p.m.

ب) $s = n_F - n =$ 50 r.p.m. ≙ 3,3%

ج) $n = n_F - s =$ 1500 r.p.m. $- \left(\frac{1500 \cdot 0,6}{100}\right)$ r.p.m. =

= 1500 r.p.m. − 9 r.p.m. = 1491 r.p.m.

٤٦ – ٢ احسب التفويت s كنسبة مئوية.

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| سرعة دوران المجال $n_F$ | 750 | 1500 | 3 000 | 1000 |
| سرعة دوران عمود الإدارة n (r.p.m.) | 710 | 1420 | 2 820 | 940 |

٤٦ – ٣ محرك ذو ستة أقطاب به تفويت 6%. عين سرعة دوران عمود إدارته عند توصيله على كل من الترددات الآتية:

أ) $16\,^2/_3$ Hz ب) 50 Hz ج) 60 Hz د) 100 Hz

٤٦ – ٤ يدور محرك تزامني عند التردد 50 Hz بسرعة 500 r.p.m. ما عدد أقطابه؟

٤٦ – ٥ احسب القيم الناقصة بالجدول لمحرك التيار المتردد اللاتزامني.

| | f (Hz) | p (عدد أزواج الأقطاب) | s (%) أو (r.p.m.) | n (r.p.m.) | $n_F$ (r.p.m.) |
|---|---|---|---|---|---|
| أ) | $16^2/_3$ | 4 | ? r.p.m. | 235 | ? |
| ب) | 50 | 8 | ? % | 342 | ? |
| ج) | 60 | 6 | 15 r.p.m. | ? | ? |
| د) | ? | 1 | 120 r.p.m. | ? | 3 000 |
| هـ) | 50 | 2 | ? % | 1442 | ? |
| و) | 50 | ? | ? % | 1420 | 1 500 |

٤٦ – ٦ عند تشغيل محرك تيار متردد بينت أجهزة القياس القيم: U = 220 V, I = 6,5 A, P = 1,05 kW. ما مقدار معامل القدرة الفعالة (cos φ) ومعامل القدرة المفاعلة (sin φ)؟

٤٦ – ٧ أخذت البيانات التالية من لوحة بيانات لمحرك أحادي الطور: cos φ = 0,72; n = 1420 r.p.m.; 220 V; 50 Hz; 8,2 A;
احسب: أ) القدرات الفعالة والظاهرية والمفاعلة، المستهلكة بواسطة المحرك عند التحميل الإسمي ب) قدرة المحرك (kW) إذا كانت الكفاية 0,68 ج) عزم الدوران للمحرك M عند التشغيل الإسمي.

٤٦ – ٨ يعطي محرك تيار متردد 220 V عند التشغيل الإسمي وعند كفاية 0,74 قدرة 2,6 kW عند عمود إدارته. ويبلغ معامل القدرة من المعطيات 0,8. احسب: أ) القدرة الفعالة والقدرة الظاهرية والقدرة المفاعلة المستهلكة بواسطة المحرك ب) تيار المحرك I.

٤٦ – ٩ يعمل محرك أحادي الطور قدرته 0,75 kW على جهد 220 V ومعامل قدرته cos φ = 0,78 وكفايته 0,66. احسب القدرة المستهلكة بواسطة المحرك والتيار المسحوب عند التحميل الإسمي.

٤٦ – ١٠ عند إجراء تجربة كبح لمحرك أحادي الطور قيست القيم التالية: U = 220 V; I = 2,15 A; $P_1$ = 282 W; $P_2$ = 180 W
احسب: أ) الكفاية ب) القدرة الظاهرية
ج) معاملي القدرة الفعالة والقدرة المفاعلة
د) القدرة المفاعلة هـ) التيارين الفعال والمفاعل
و) زاوية الإزاحة الطورية.

٤٦ – ١١ احسب جهد التشغيل لمحرك أحادي الطور من المعطيات التالية: I = 2,85 A cos φ = 0,68, η = 0,75 والقدرة الإسمية 550 W.

٤٦ – ١٢ محرك أحادي الطور معطياته هي: η = 78% 1,5 kW; 6,6 A; cos φ = 0,76; احسب الجهد الواجب توصيله بالمحرك.

٤٦ – ١٣ احسب القدرة بالكيلوواط التي يعطيها محرك أحادي الطور يسحب عند 220 V تيارا قدره 2,8 A؟ مع العلم بأن الكفاية تبلغ 0,62 وأن معامل القدرة يبلغ 0,78. ما مقدار عزم الدوران الإسمي عند n = 2 820 r.p.m.؟

٤٦ – ١٤ يلزم لمنشار دائري، طبقا لمعطيات النشرة التوضيحية عند سرعة دوران 2 700 r.p.m. عزم دوران قدره 6,5 Nm. احسب: أ) القدرة الإسمية لمحرك متصل بمكثف يعمل على 220 V لإدارة المنشار الدائري
ب) التيار I في خط التغذية عند cos φ = 0,8, η = 0,75.

٤٦ – ١٥ يراد رفع حمولة قدرها 120 kg إلى ارتفاع 12 m في زمن قدره 14 s بواسطة مصعد بناء كفايته 72%. فإذا كان المصعد يعمل بمحرك بجهد 220 V ومعامل قدرة cos φ = 0,8 وكفايته 0,7، احسب:
أ) القدرة الإسمية للمحرك أحادي الطور.
ب) القدرة الفعالة المستهلكة بواسطة المحرك والتيار المسحوب.

٤٦ – ١٦ عين سعة: أ) مكثف بدء الدوران $C_{st}$ ب) مكثف التشغيل $C_{op}$ لمحرك أحادي الطور، معطياته هي: cos φ = 0,5 220 V; 6 A;

٤٦ – ١٧ محرك مكنسة كهربائية بياناته هي: 220 V/50 Hz, cos φ = 0,75، يسحب تيارا قدره 0,8 A. احسب: تكلفة التشغيل الشهرية (30 يوما) لزمن تشغيل يومي قدره 15 min ولسعر طاقة يبلغ 0,10 SR/kWh.

٤٦ – ١٨ شغل محرك غسالة كهربائية بياناته هي: cos φ = 0,7, 220 V, 50 Hz واستهلك تيار قدره 3,5 A لمدة $4^1/_2$ h. احسب تكلفة التشغيل لسعر طاقة مقداره 0,12 SR/kWh

٤٦ – ١٩ يدير محرك تيار متردد يوميا مثقاباً لمدة 3,5 h بتحميل إسمي قدره 520 W وبكفاية 0,8 ولمدة 0,5 h بنصف حمل وبكفاية 0,45. احسب استهلاك الشغل الشهري W على أساس 22 يوما (الوحدة kWh).

٤٦ – ٢٠ معطيات محرك متصل بمكثف بدء حركة ومكثف تشغيل هي كالآتي: 220 V و 3,5 A و cos φ = 0,9 و η = 0,7 و n = 1450 r.p.m.

احسب: أ) تيار بدء الحركة ب) عزم الدوران الإسمي ج) أكبر عزم بدء وعزم انقلاب. (انظر الجدول باللوحة ٤٦).

## توليد الجهد — المعادلة الرئيسية للمحولات

تقوم المحولات بتحويل الجهود المترددة وهي تستخدم في نقل الطاقة الكهربائية عبر مجال كهربائي مغنطيسي متردد، من نظم (مصادر) لها جهد وتردد معينان، إلى نظم لها الجهد المرغوب فيه ولكن بنفس التردد، وتستخدم المحولات، بالإضافة إلى ذلك، لتوصيل الأجراس والمصابيح القوسية ومكنات اللحام بالمقاومة واللعب الكهربائية ومصابيح الإضاءة بالتفريغ، ولتجنب جهود التلامس المرتفعة ذات الخطورة (تستعمل محولات حماية ومحولات فصل ومحولات عزل).

رموز المحول:

أ) اللفيفة الابتدائية = لفيفة الدخول ($N_1$).

ب) اللفيفة الثانوية = لفيفة الخروج ($N_2$).

ج) لفيفة الجهد العالي: هي اللفيفة المتصلة بالشبكة ذات الجهد الأعلى.

د) لفيفة الجهد المنخفض: هي اللفيفة المتصلة بالشبكة ذات الجهد الأقل.

هـ) $U_1$ = الجهد الابتدائي، $U_2$ = الجهد الثانوي

المعادلة الرئيسية للمحول:

$$E_2 = 4{,}44 \cdot B_{max} \cdot A \cdot f \cdot N_2 \quad V$$

حيث:

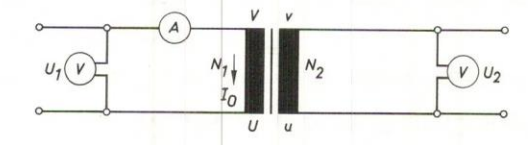
A = مساحة مقطع القلب بالمتر المربع ($m^2$)

و $4{,}44 = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}}$

f = التردد بالهيرتز (Hz) و $1\ Hz = 1/s$.

B = كثافة التدفق بالتسلا (T) و $1\ T = 1\ Vs/m^2$.

## سلوك المحول أثناء الدائرة المفتوحة (اللاحمل) وأثناء التحميل




يمكن استخدام المحول **لتحويل الجهد**. ففي كل لفة منفردة من اللفيفة الإبتدائية والثانوية يستحث جهد لفة متساو (الصيغة ١).

تكون نسبة الجهد الابتدائي في المحول المثالي (عديم الفقد) إلى الجهد الثانوي كنسبة عدد اللفات الابتدائية إلى عدد اللفات الثانوية (الصيغة ٢)

| | |
|---|---|
| ١ | $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$ |
| ٢ | $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ |

نسبة التحويل للمحول أثناء الدائرة المفتوحة طبقا لتعليمات VDE 0532.

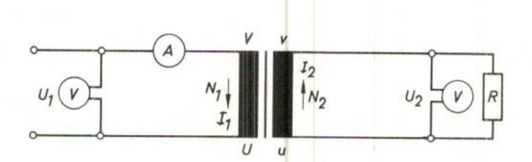
$$t_r = \frac{\text{الجهد الأعلى}}{\text{الجهد الأقل}}$$

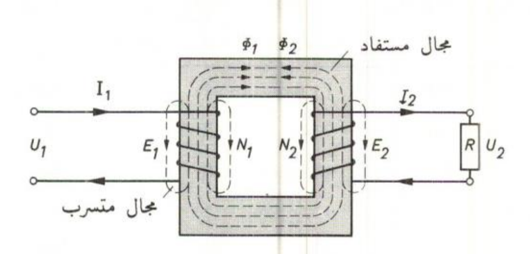
وطبقا لقانون حفظ الطاقة فإن القدرة $S_1$ التي يأخذها المحول المثالي تساوي القدرة التي يعطيها $S_2$:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \qquad S_1 = S_2$$

يمكن استخدام المحول **لتحويل التيار**. وتتناسب شدة التيار في ملفات المحول المثالي عكسيا مع الجهود، وعكسيا أيضا مع عدد اللفات:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$




عند حساب الكفاية η تؤخذ المفقودات في الاعتبار ويظهر فقد الحديد $L_{Fe}$ فعلا في حالة الدائرة المفتوحة ويزيد فقد النحاس $L_{Cu}$ بزيادة التيار $I_2$.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + L_{Fe} + L_{Cu}}$$

يؤخذ تيار الدائرة المفتوحة $I_0$ (تيار اللاحمل) الذي يسحبه المحول غير الحمل في الاعتبار، ولذلك فالتيار $I_1$ يتكون من التيارات الآتية (ليس بجمع الأعداد، وإنما بجمع المتجهات):

- تيار الحمل: $I_2 \cdot \frac{N_2}{N_1} = I_1$
- تيار الدائرة المفتوحة (اللاحمل) $I_0$ ويتراوح بين 4% إلى 12% من التيار الإسمي $I_N$.
  - تيار المغنطة (تيار مفاعل $I_M$)
  - تيار فقد الحديد (تيار فعال $I_a$)

تمرينات

٤٧ – ١ أوجد الجهد $E_2$، المستحث في اللفيفة الثانوية لمحول أحادي الطور، ذي (لفة) $N_2=800$ إذا وصلت كثافة التدفق B إلى القيمة العظمى 1 T عند مساحة مقطع قلب قدرها $25\ cm^2$ $\left(\frac{25\ m^2}{10000}\right)$ وعند تردد 50 Hz. ما مقدار جهد اللفة $e_2$؟

$(1\ T=1\ Vs/m^2=1\ Wb/m^2)$

الحل :

$E_2=4{,}44\cdot\Phi_{max}\cdot f\cdot N_2=4{,}44\cdot B_{max}\cdot A\cdot f\cdot N_2$

$E_2=4{,}44\cdot 1\ T\cdot 0{,}0025\ m^2\cdot 50\ 1/s\cdot 800=\underline{444\ V}$

$e_2=\frac{E_2}{N_2}=\frac{444\ V}{800}=\underline{0{,}55\ V}$

٤٧ – ٢ اوجد جهد اللفة $e_2$ للفيفة ثانوية بمحول إذا كانت $B_{max}=1\ T$ ومساحة مقطع القلب $64\ cm^2$ والتردد $f=50\ Hz$. ما قيمة الجهد المستحث $E_2$ إذا زيد عدد اللفات الثانوية من (لفة) $N_2=200$ إلى : أ) الضعف ب) ثلاثة أمثال ج) أربعة أمثال؟ وما هي النتيجة المستفادة؟

٤٧ – ٣ محول أحادي الطور $f=50\ Hz$
و (لفة) $N_2=500$ $A=7\ cm\cdot 7\ cm,\ B_{max}=0{,}8\ T,$
احسب : أ) التدفق المغنطيسي $\Phi$ ب) جهد اللفة $e_2$
ج) الجهد الثانوي $E_2$.

٤٧ – ٤ كم عدد اللفات اللازمة للملف الثانوي، لكي يصل جهده المستحث إلى 110 V عند $B_{max}=0{,}85\ T$ لقلب محول أبعاد مقطعه هي $5\ cm\cdot 5\ cm$، وعند تردد 50 Hz؟

٤٧ – ٥ محول بياناته كالتالي : $E_2=220\ V,\ f=50\ Hz$
(لفة) $N_2=2000$. اوجد مساحة مقطع القلب المطلوبة، إذا أريد ألا تتعدى كثافة التدفق B القيمة 0,9 T.

٤٧ – ٦ ما هو التعديل الواجب في مقطع قلب المحول في المسألة السابقة، إذا استبدل تردد الشبكة 50 Hz بالترددات التالية :

أ) $16\ ^2/_3\ Hz$ ب) 40 Hz ج) 60 Hz.

٤٧ – ٧ محول معطياته هي : $f=50\ Hz,\ A=5\ cm\cdot 5\ cm,\ E_2=1\ kV$
(لفة) $N_2=1820$. ما هي القيمة العظمى الواجبة :
أ) للتدفق المغنطيسي $\Phi$ ب) لكثافة التدفق B للمحول؟

٤٧ – ٨ احسب القيم الناقصة بالجدول.

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| $E_2(V)$ | ? | 1408 | 220 | 380 |
| $B_{max}(T)$ | 1,2 | 1 | 0,82 | ? |
| $A(m^2)$ | $36\cdot 10^{-4}$ | ? | $20\cdot 10^{-4}$ | $8\cdot 10^{-4}$ |
| f(Hz) | 50 | 50 | $16^2/_3$ | 60 |
| $N_2$ (لفة) | 500 | 1000 | ? | ? |
| $\Phi_{max}(Wb)$ | ? | ? | ? | $4\cdot 10^{-4}$ |
| $e_2(V)$ | 0,55 | ? | ? | ? |

٤٧ – ٩ احسب عدد اللفات $N_1$ و $N_2$ لمحول أحادي الطور مساحة مقطع قلبه $f=50\ Hz,\ B_{max}=1\ T,\ 100\ cm^2$. ومطلوب أن يخفض الجهد من 3 kV إلى 200 V. (يمكن التعويض عن الطبقات الورقية البينية بين رقائق القلب بمقدار 10% من مساحة المقطع).

الحل :

$U_1=4{,}44\cdot\Phi_{max}\cdot f\cdot N_1$

$N_1=\frac{U_1}{4{,}44\cdot\Phi_{max}\cdot f}=\frac{U_1}{4{,}44\cdot B_{max}\cdot A\cdot f}$

$N_1=\frac{3000\ V}{4{,}44\cdot 1\ T\cdot 0{,}009\ m^2\cdot 50\ 1/s}=\underline{1500}$ لفة

$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2};\ N_2=N_1\cdot\frac{U_2}{U_1}=1500\cdot\frac{200}{3000}=\underline{100}$ لفة

٤٧ – ١٠ أوجد عدد اللفات $N_1$ و $N_2$ التي يجب أن يحتويها محول تيار متردد بياناته هي : $B_{max}=1{,}2T$ و $A=60\ cm^2$ عند $f=50\ Hz$، وذلك لرفع الجهد من 250 V إلى 3000 V، يؤخذ في الاعتبار أن الطبقات الورقية البينية للقلب تمثل 8% من مساحة المقطع. ما مقدار نسبة التحويل $t_r$ للمحول؟

٤٧ – ١١ ما مقدار كثافة التدفق $B_{max}$ بالتسلا (T) في مساحة المقطع الحديدي $A=8\ cm^2$ لمحول غير محمّل، وصّل ملفه الابتدائي وعدد لفاته $N_1=1200$ بجهد متردد 220 V/50 Hz؟ كم لفة تلزم للملف الثانوي، إذا أريد للمحول أن يعطي 3,3 kV واعتبرت الطبقات الورقية البينية للقلب تمثل 8% من مساحة المقطع. ما مقدار نسبة التحويل للمحول؟

٤٧ – ١٢ احسب الجهد المتردد U بالڤولط اللازم لعمل ملف ذي مقطع حديدي مساحته $A=22\ cm^2$ حيث : $B_{max}=1{,}2\ T$ (لفة) $f=50\ Hz,\ N_1=380$.

٤٧ – ١٣ وصّل الجانب الابتدائي لمحول ذي ملفات يمكن تبديلها على جهد متردد $U_1=220\ V$. احسب الجهود الثانوية للمحول غير المحمّل، لعدد لفات ثانوية قدره : أ) 6 ب) 150 ج) 600 د) 1800 هـ) 36 000 إذا لزم أن يكون عدد لفات الملف الإبتدائي (لفة) $N_1=1200$ احسب نسبة التحويل $t_r$.

٤٧ – ١٤ يعطي الملف الثانوي لمحول 8 V و300 mA. ما مقدار التيار الابتدائي ونسبة التحويل، إذا كان جهد الشبكة 220 V؟

الحل :

$\frac{I_1}{I_2}=\frac{U_2}{U_1};\ I_1=\frac{U_2\cdot I_2}{U_1}=\frac{8\ V\cdot 0{,}3\ A}{220\ V}=\underline{0{,}011\ A}$

$t_r=\frac{U_1}{U_2}=\frac{220\ V}{8\ V}=\underline{27{,}5:1}$

٤٧ – ١٥ محول خفض الجهد من 220 V إلى 24 V ويعطي 6 A في الملف الثانوي ذي الجهد المنخفض. ما مقدار التيار في الملف ذي الجهد العالي؟

٤٧ – ١٦ احسب قيمة التيار الذي يعطيه محول إذا سحب تيارا قدره 1,8 A عند نسبة تحويل : $t_r=\frac{U_H}{U_L}=\frac{8}{1}$.

٤٧ – ١٧ يحول محول خفض، الجهد من 220 V إلى الجهود 3 V و 5 V و 8 V. احسب عدد اللفات في اللفيفة الثانوية ذات الجهد المنخفض (الثانوي)، وأين يوصل التفرع، إذا كان للفيفة ذات الجهد العالي (الإبتدائي) 480 لفة؟ احسب نسب التحويل الثلاث.

٤٧ – ١٨ محول حماية 220/24 V ، يعطي الملف الثانوي منه تيارا قدره 2,5 A. احسب القدرة الظاهرية المعطاة للمحول .

٤٧ – ١٩ إذا كان الجهد الإسمي لمحول أحادي الطور هو 6 kV والتيار الإسمي هو 85 A. ما قيمة القدرة الإسمية للمحول؟

٤٧ – ٢٠ إذا أعطيت محولات أحادية الطور القيم الإسمية الموجودة بالجدول . احسب شدتي التيارين $I_1$ و$I_2$ وقارن بين شدتي التيارين الإسميتين والجهود الإسمية . ما هي النتيجة المستفادة؟

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| القدرة الإسمية S(VA) | 200 | 300 | 500 | 1000 | 2000 | 6000 |
| الجهد الإسمي $U_1$(V) | 125 | 220 | 220 | 380 | 500 | 380 |
| الجهد الإسمي $U_2$(V) | 24 | 42 | 42 | 24 | 42 | 110 |

الحل للجزء (أ) :

$$S=U_1\cdot I_1;\quad I_1=\frac{S}{U_1}=\frac{200\ VA}{125\ V}=\underline{1{,}6\ A}$$

$$S=U_2\cdot I_2;\quad I_2=\frac{S}{U_2}=\frac{200\ VA}{24\ V}=\underline{8{,}33\ A}$$

٤٧ – ٢١ محول أحادي الطور قدرته الظاهرية 20 kVA ، يعطي عند التوصيل على 3 kV جهدا ثانويا قدره 220 V. احسب شدة التيار في الجانب ذي الجهد العالي والجانب ذي الجهد المنخفض . (اهمل الفقد) .

٤٧ – ٢٢ يراد تحميل محول مثالي (ليست به مفقودات) أحادي الطور 220/110 V بحمل قدره 2200 VA. احسب :
أ) التيارات في الجانبين الإبتدائي والثانوي . ب) مساحة المقطع للفيفتي الدخول والخروج ، إذا أريد أن تكون كثافة التيار $S=2\ A/mm^2$ .

٤٧ – ٢٣ حمل محول حماية 220/24 V على جانب الخرج بمصباح متوهج 200 W فإذا كانت كفاية المحول 0,95 ، إحسب : أ) شدة التيار $I_2$ في اللفيفة الثانوية ب) القدرة الإبتدائية $P_1$ ج) شدة التيار $I_1$ في اللفيفة الإبتدائية .

٤٧ – ٢٤ محول حماية 380/24 V قدرته الإسمية $S_2=1000$ VA عند الكفاية 0,92 . احسب عند توصيل مصابيح يدوية :
أ) القدرة الفعالة $P_1$ و $P_2$ بالواط ب) شدة كلٍ من التيارين في كل من اللفيفتين ج) فقد الملف (VA) .

٤٧ – ٢٥ يخفض محوّل أحادي الطور ، ذو 10 kVA الجهد من 6000 V إلى 220 V ما هي القدرة الفعالة القصوى $P_2$ ، التي يمكن أخذها من المحول في حالات التحميل الثلاثة التالية :
أ ) أجهزة تدفئة ذات $\cos\varphi=1$؟
ب) محركات أحادية الطور ذات مكثف معامل قدرته $\cos\varphi=0{,}87$ .
ج) مصابيح فِلْوَرية ذات $\cos\varphi=0{,}5$ .
احسب شدة التيارات في اللفائف ، إذا بلغت الكفاية 0,95. ما هي النتيجة المستفادة؟

٤٧ – ٢٦ أشارت أجهزة القياس في محطة محولات إلى القيم التالية على مدار اليوم لمحول أحادي الطور 10 kV/220 V :

أ ) $I=30$ A, $\cos\varphi=0{,}8$ ب) $I=85$ A, $\cos\varphi=0{,}72$
ج ) $I=62$ A, $\cos\varphi=0{,}93$ د ) $I=55$ A, $\cos\varphi=0{,}62$
هـ ) $I=70$ A, $\cos\varphi=1$ .
احسب القدرة المعطاة للمحول بالكيلوواط (kW) .

٤٧ – ٢٧ حمّل محول أحادي الطور 220/42V بواسطة مدفأة كهربائية قدرتها 4 kW ($\cos\varphi=1$). احسب : أ) شدة التيار الثانوي $I_2$ ب) شدة التيار الإبتدائي $I_1$ من الصيغة الرياضية لتحويل التيار ج) شدة التيار الإبتدائي على أساس العلاقة $S_1=S_2$ مع إهمال المفقودات .

٤٧ – ٢٨ إذا كانت البيانات الموجودة على لوحة القدرة لمحول أحادي الطور هي : 20 kV/0,4 kV, 160 kVA
احسب القدرة الفعالة وشدة التيار التي يمكن أخذها من المحول عند معاملات القدرة الفعالة التالية :
أ ) $\cos\varphi=1$ ب) $\cos\varphi=0{,}9$ ج) $\cos\varphi=0{,}75$
د ) $\cos\varphi=0{,}6$ هـ) $\cos\varphi=0{,}5$ و ) $\cos\varphi=0{,}3$
ز ) $\cos\varphi=0{,}2$ ح ) $\cos\varphi=0{,}1$

٤٧ – ٢٩ وصّلت الأجهزة التالية كحمل على محول أحادي الطور 5000/110 V: أ) محرك : 9 kW, $\eta=0{,}8$, $\cos\varphi=0{,}85$ ب) 20 مصباحا متوهجا كل منها 200 W ج) فرن تقسية بياناته هي : 8 kW, $\cos\varphi=1$. وبفرض أن معامل القدرة المتوسطة هو 0,9 ، احسب : أ) القدرة الإسمية للمحول (kVA) ب) شدة التيار التي تظهر في الجانب الثانوي عند التحميل الإسمي . ج) مساحة مقطع الكبل النحاسي الذي يوصل المحول بمجموعة المفاتيح؟

٤٧ – ٣٠ يخفض محوّل أحادي الطور ذو قدرة إسمية 2,0 kVA وكفاية 0,95 الجهد من 220 V إلى 80 V ، قيست 17 A في الجانب الثانوي عند توصيل أحمال أومية عالية . احسب :
أ) القدرة الفعالة المستفادة $P_2$ ب) القدرة الفعالة المعطاة $P_1$ ج) التيار المسحوب $I_1$ د) فقد المحول .

٤٧ – ٣١ حمل محول أحادي الطور 6 kV/0,4 kV عند $\cos\varphi=0{,}86$ بحمل مقداره 15 kW. احسب :
أ ) القدرة الفعالة المستهلكة بواسطة الحمل .
ب) القدرة الظاهرية المعطاة للمحول
ج) التيار I في الجانب ذي الجهد العالي وفي الجانب ذي الجهد المنخفض
د ) مفقودات المحول ($\eta=0{,}95$) .

٤٧ – ٣٢ قيست القيم التالية عند التشغيل الإسمي لمحول ما وكانت :
$U_2=20$ V, $I_2=8$ A, $U_1=220$ V, $I_1=0{,}75$ A
احسب :
أ) كفاية المحول ($\eta$) ب) المفقودات؟

٤٧ – ٣٣ يراد توصيل جهاز معطياته هي : 42 V, $P_2=300$ W, $\eta=75\%$, $\cos\varphi=0{,}85$, على شبكة تيار متردد 1/N ~ 50 Hz/220 V. فإذا فرض أن كفاية المحول هي 0,92 ، احسب : أ) شدة التيار في لفيفة الخروج ب) شدة التيار في لفيفة الدخول ج) القدرة المستهلكة بواسطة الحمل $P_1$ والقدرة $P_2$ المعطاة للحمل بالواط د) المفقودات في الحمل بالواط هـ) احتياج الحمل من القدرة المفاعلة (var) .

## مواءمة المقاومة مع المحول

٤٧ – ٣٤ وصّل محول أحادي الطور عدد لفاته الابتدائية (لفة) $N_1=1200$ على $U_1=120\text{ V}$ وحمّلت اللفيفة الثانوية التي عدد لفاتها $600 = N_2$ بمقاومة $R_2=10\,\Omega$ .

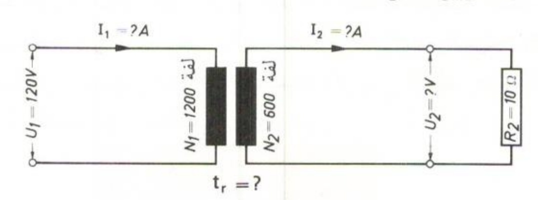
احسب :

أ ) الجهد الثانوي $U_2$ وتيار التحميل $I_2$

ب) التيار الابتدائي $I_1$ طبقا لقانون تحويل التيار

ج) نسبة التحويل $t_r$

د ) نسبة تحويل المقاومة .




الحل :

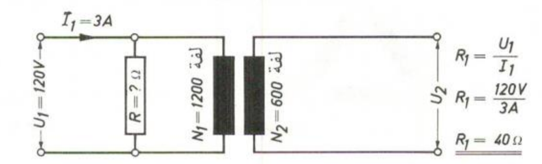
$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2};U_2=\frac{U_1\cdot N_2}{N_1}=\frac{120\text{ V}\cdot 600}{1200}=\underline{60\text{ V}}$$

$$I_2=\frac{U_2}{R_2}=\frac{60\text{ V}}{10\,\Omega}=\underline{6\text{ A}}$$

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{N_2}{N_1};I_1=\frac{N_2\cdot I_2}{N_1}=\frac{600\cdot 6\text{ A}}{1200}=\underline{3\text{ A}}$$

$$t_r=\frac{U_1}{U_2}=\frac{120\text{ V}}{60\text{ V}}=\underline{2:1}$$

إذا وصّل محول غير محمّل مع اللفيفة الإبتدائية للمقاومة $R_1$ على التوازي ، نتج نفس التيار الابتدائي $I_1$ .




عند نسبة التحويل (2:1) تكون نسبة تحويل المقاومة :

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{40}{10}=4\div 1=2^2\div 1$$

وبذلك يمكن استنتاج الصيغة الرياضية لحساب $R_1$ بواسطة قانون أوم :

$$R_1=\frac{U_1}{I_1};\quad t_r=\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}$$

وبوضعها بصورة أخرى نحصل على :

$$U_1=t_r\cdot U_2;\quad I_1=\frac{I_2}{t_r}$$

$$R_1=\frac{U_1}{I_1}=\frac{t_r\cdot U_2}{\frac{I_2}{t_r}}=t_r^2\cdot\frac{U_2}{I_2};\quad R_2=\frac{U_2}{I_2}$$

$$\underline{R_1=t_r^2\cdot R_2};\quad \underline{t_r=\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}}$$

٤٧ – ٣٥ احسب نسبة تحويل المقاومة لثلاثة محولات ، بياناتها هي :

أ ) المحول I : $U_1=240\text{ V};\ N_1=2\,400$ لفة
$N_2=800$ لفة; $R_2=10\,\Omega$

ب) المحول II : $U_1=240\text{ V};\ N_1=2\,400$ لفة
$N_2=600$ لفة; $R_2=10\,\Omega$

ج) المحول III : $U_1=240\text{ V};\ N_1=2\,400$ (لفة)
$N_2=400$ لفة; $R_2=10\,\Omega$

قارن بين نسبة التحويل للمحولات والنسبة المناظرة لتحويل المقاومة . ما هي النتيجة المستفادة؟

٤٧ – ٣٦ محول خفض أحادي الطور يحول الجهد من 220 V إلى 20 V وعدد لفات لفيفته الابتدائية $N_1=1600$ فإذا وصلت مقاومة $R_2=5\,\Omega$ على أطراف اللفيفة الثانوية ،

احسب :

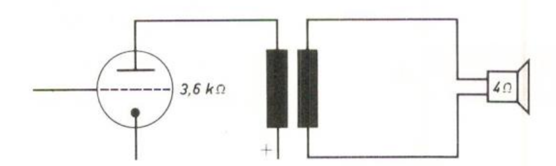
أ ) عدد اللفات في الجانب ذي الجهد المنخفض

ب) شدة التيار الابتدائي والثانوي

ج) نسبة تحويل الجهود

د ) نسبة تحويل المقاومة .

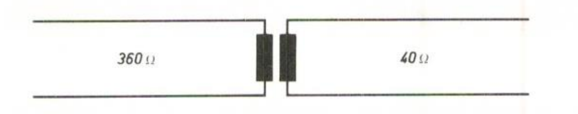
٤٧ – ٣٧ يراد مواءمة مقاومة ضئيلة لمكبر صوت مقدارها 4 Ω بواسطة محول مع المقاومة العالية للمرحلة النهائية وقدرها 3,6 kΩ احسب نسبة التحويل .




٤٧ – ٣٨ يحتوي الجدول التالي على مقاومات منابع وأحمال . ويراد المواءمة بينها بواسطة محول . احسب نسبة التحويل للقيم الموضحة بالجدول .

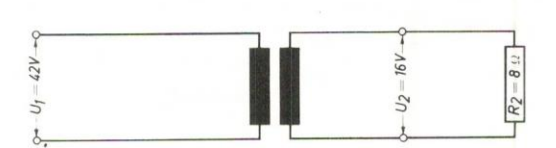
| | مقاومة الحمل $R_2$ | مقاومة المنبع $R_1$ |
|---|---|---|
| أ ) | 4 Ω | 2,5 kΩ |
| ب) | 9 Ω | 0,4 kΩ |
| ج) | 36 Ω | 900 Ω |
| د ) | 10 Ω | 1000 Ω |
| هـ ) | 25 Ω | 8,1 kΩ |
| و ) | 8 Ω | 800 Ω |

٤٧ – ٣٩ احسب نسبة التحويل اللازمة لمحول ما ، لمواءمة موصلين ذوي مقاومتين مختلفتين عن بعضهما البعض؟



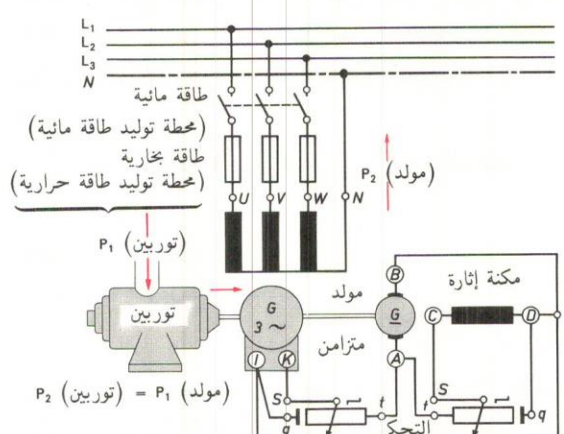

٤٧ – ٤٠ بأي مقاومة $R_1$ يحمل حمل مستهلك مقاومته $R_2=8\,\Omega$ على جانب الدخول؟

احسب نسبة التحويل $t_r$ .




٤٧ – ٤١ محول ذو (لفة) $N_2=50$ يوائم مكبر صوت مقاومته 4 Ω مع مقاومة خارجية قدرها 2,5 kΩ . عيّن نسبة التحويل ($t_r$) وعدد لفات اللفيفة الابتدائية ($N_1$) .

## نسب القدرة في مولد التيار ثلاثي الأطوار




أ ) يتحدد تردد المولد المتزامن بسرعة دوران العضو الدوار وبعدد أزواج أقطابه :

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad \text{Hz}$$

n = سرعة الدوران (r.p.m.)

p = عدد أزواج الأقطاب

ب) يأخذ مولد التيار ثلاثي الأطوار طاقة حركة التوربين، عند عمود الإدارة .

$$P_2\ (\text{توربين}) = \frac{G \cdot h}{1000 \cdot t} \cdot \eta \quad \text{kW}$$

$$P_2\ (\text{توربين}) = P_1\ (\text{مولد})$$

G = ثقل (وزن) كمية الماء بالنيوتن (N) و h = الارتفاع الهيدرولي بالمتر (m) و t = الزمن بالثانية (s).

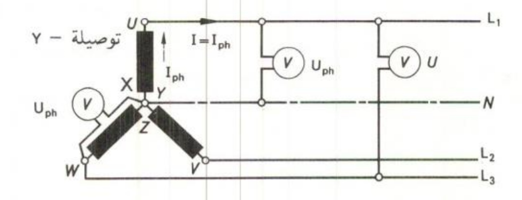
ج) تحدد قدرة المولد عن طريق معرفة الفقد . حيث القدرة المستفادة من التوربين $P_2$ = القدرة الداخلة للمولد $P_1$ وتساوي القدرة الفعالة (المستفادة) من المولد مضافا إليها المفقودات النحاسية والحديدية .

$$\eta\ \text{مولد} = \frac{P_2\ (\text{مولد})}{P_1\ (\text{مولد})}$$

د ) حيث إن معامل القدرة $\cos\varphi$ يتحدد بنوع التحميل لذا تعطى القدرة الإسمية على لوحة القدرة للمولد كقدرة ظاهرية :

$$S = U \cdot I \cdot 1{,}73 \quad \text{VA}$$

## نسب التيار ونسب الجهد في توصيلات مولد التيار ثلاثي الأطوار




أ ) في التوصيل النجمي Y للمولد، توصل النهايات الثلاث للفائف الأطوار X, Y, Z معا .

ب) يبلغ جهد الخط U ، بين موصلين خارجيين، 1,73 مرة مثل جهد الطور $U_{ph}$.

ج) تيار الطور $I_{ph}$ وتيار الخط I لهما نفس القيمة .

$$I = I_{ph} \qquad U = 1{,}73 \cdot U_{ph}$$

توصيلة — Δ

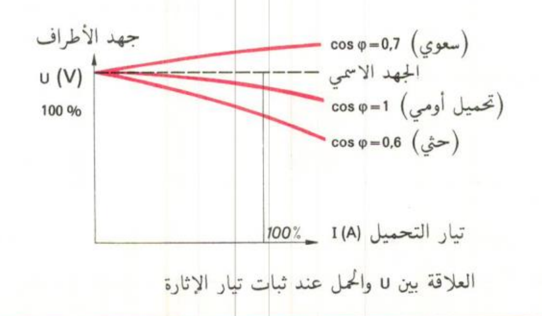
أ ) في التوصيل المثلثي Δ للمولد، توصل لفائف الأطوار الثلاث مع بعضها البعض كحلقة .

ب) يتساوى جهد الخط U بين موصلين خارجيين مع جهد الطور $U_{ph}$ على كل طور بمفرده .

ج) يبلغ تيار الخط I 1,73 مرة مثل تيار الطور $I_{ph}$.

$$I = 1{,}73 \cdot I_{ph} \qquad U = U_{ph}$$

## المنحنيات الخصائصية الخارجية لمولد التيار ثلاثي الأطوار




العلاقة بين U والحمل عند ثبات تيار الإثارة

أ ) يتحدد الجهد والقدرة حسب نوع التحميل .

ب) في التحميل الأومي والتحميل الحثي ينخفض الجهد U ويتم الاحتفاظ بالقيمة ثابتة، عن طريق زيادة تيار الإثارة .

ج) في التحميل السعوي يرتفع جهد الأطراف ويتم الاحتفاظ بالقيمة ثابتة عن طريق خفض تيار الإثارة .

غالبا ما يتم الاحتفاظ بقيمة ثابتة لكلتا الحالتين بواسطة تحكم أوتوماتي في الجهد .

تمرينات

٤٨ – ١ احسب سرعة الدوران التي يجب أن يدير بها توربين مائي مولد تيار ثلاثي الأطوار ذا 24 قطبا كي يصل التردد إلى 50 Hz؟

٤٨ – ٢ يولد توربين مائي قدرة مقدارها 370 kW ويعطي عند عمود الإدارة 310 kW. احسب: أ) الكفاية كنسبة مئوية ب) الفقد في القدرة (W).

٤٨ – ٣ احسب قيم التوربين الناقصة بالجدول:

| | القدرة المتولدة $P_1$ من التوربين | القدرة المأخوذة من التوربين عند عمود الإدارة $P_2$ | فقد القدرة $P_l$ في التوربين | الكفاية η |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 530 kW | 410 kW | ? Nm/s | ? % |
| ب) | 580 kNm/s | ? kW | 145 kNm/s | ? |
| ج) | 45 kW | ? kW | ? Nm/s | 86% |
| د) | ? kW | 75 kW | ? W | 0,92 |

٤٨ – ٤ ما هي القدرة المتولدة (kW) من توربين مائي إذا تم تغذيته بمقدار $12\ m^3$ من الماء من ارتفاع تصريف 20 m كل ثانية؟ كم kW يمكن إعطاؤها لمولد التيار ثلاثي الأطوار عند كفاية قدرها 80%؟

الحل: $P_1 = \frac{G \cdot h}{1000 \cdot t} = \frac{12 \cdot 9\,810\ N \cdot 20\ m}{1000 \cdot 1s} = \underline{2354\ kW}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1};\ P_2 = P_1 \cdot \eta = 2\,354\ kW \cdot 0,8 = \underline{1883\ kW}$

٤٨ – ٥ ما مقدار القدرة المتولدة من محطة توليد هيدرولية والناتجة عن تدفق مياه $36\ m^3/s$ من ارتفاع تصريف متوسط قدره 380 m؟

٤٨ – ٦ كم kW ينتجها توربين الدفع للمرحلة الرئيسية في محطة توليد هيدرولية عند $\eta = 0,85$؟
الارتفاع الهيدرولي $h = 790\ m$ والتدفق المائي $G = 32\ m^3/s$. ما مقدار المفقودات في التوربين بوحدة (kW)؟

٤٨ – ٧ كم $m^3$ من المياه تلزم في الساعة لتوربين مائي ليعطي قدرة مقدارها 480 kW عند: $\eta = 0,8$ و $h = 6,5\ m$؟

٤٨ – ٨ يمكن لخزان ضخ ذي إرتفاع هيدرولي قدره 30 m أن يعطي $25\ m^3$ من المياه في الثانية ولمدة 8 h. ما هي القدرة الظاهرية (kVA) التي يعطيها مولد تيار ثلاثي الأطوار إذا فرض أن: $\cos\varphi = 0,82$ و$\eta = 0,7$ لمجموعة التوربين وكفاية المولد 0,9؟

٤٨ – ٩ ما هي القدرة المستفادة $P_2$ من مولد تيار ثلاثي الأطوار ذي قدرة إسمية $S = 250\ kVA$ إذا شغل بمعامل قدرة بالقيم التالية: أ) 0,8 ب) 0,7 ج) 1 د) 0,9 هـ) 0,75

الحل للجزء (أ):

$\cos\varphi = \frac{P_2}{S};\ P_2 = S \cdot \cos\varphi = 250\ kVA \cdot 0,8 = \underline{200\ kW}$

٤٨ – ١٠ احسب القيم الناقصة في الجدول التالي:

| | القدرة المعطاة $P_1(kW)$ للمولد | القدرة المستفادة $P_2(kW)$ من المولد | القدرة الإسمية S(kVA) | معامل القدرة cos φ | الكفاية η |
|---|---|---|---|---|---|
| أ) | ? | ? | 300 | 0,8 | 92% |
| ب) | ? | 140 | ? | 0,8 | 0,91 |
| ج) | 182 | ? | 170 | ? | 0,93 |
| د) | 10 | 9 | 12 | ? | ? |
| هـ) | ? | 54 | 60 | ? | 90% |

الحل للجزء (أ): $\cos\varphi = \frac{P_2}{S};\ P_2 = S \cdot \cos\varphi = 300\ kVA \cdot 0,8 = \underline{240\ kW}$

$\eta = \frac{P_2}{P_1};\ P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{240\ kW}{0,92} = \underline{261\ kW}$

٤٨ – ١١ بينت أجهزة القياس على مدار اليوم القيم التالية لشبكة تيار ثلاثي الأطوار 500 V 50 Hz~3 ومحملة بحمل حثي:
أ) $I = 60\ A,\ \cos\varphi = 0,8$
ب) $I = 150\ A,\ \cos\varphi = 0,75$
ج) $I = 25\ A,\ \cos\varphi = 0,9$
د) $I = 15\ A,\ \cos\varphi = 1$
احسب القدرات المستفادة من المولد (kW)

الحل للجزء (أ):

$P_2 = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi = 500\ V \cdot 60\ A \cdot 1,73 \cdot 0,8 = 41,5\ kW$

٤٨ – ١٢ قيست على مدار اليوم قيم التيار لموصل تيار ثلاثي الأطوار 220 V 50 Hz~3 ومحمل بحمل لاحثي فكانت كما يأتي:
أ) 80 A ب) 125 A ج) 55 A د) 75 A هـ) 35 A.
احسب القدرة الفعالة (kW) التي تعطيها الشبكة.

٤٨ – ١٣ يبين الواطمتر لمولد تيار ثلاثي الأطوار أثناء التشغيل 120 kW والفولطمتر 525 V والأمبيرمتر 165 A.
أ) ما مقدار معامل القدرة الفعالة؟ ب) بأي قدرة مفاعلة Q يكون المولد محملا؟

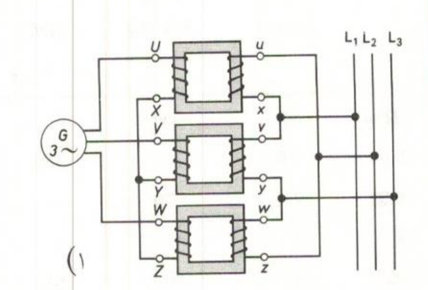
٤٨ – ١٤ وحدة تيار ثلاثي الأطوار 500 V/50 Hz~3 تتكون من موصلات نحاسية ذات مقطع $16\ mm^2$. وطبقا لتعليمات 41 § VDE 0100 جدول 2 (انظر ملحق ١–٢) يمكن تحميل هذا المقطع بتيار ثابت (متواصل) قدره 65 A، بواسطة تيار التحميل الثابت (المتواصل) وبمعاملات القدرة:
أ) 0,8 ب) 1 ج) 0,7 د) 0,6.
احسب بيانات المنشأة من الجدول ثم قارن النتائج:

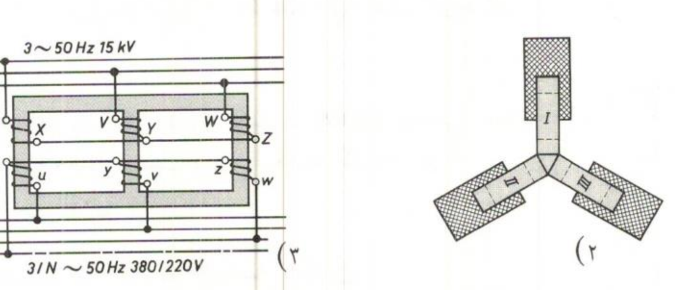
| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| القدرة الظاهرية $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$ (kVA) | ? | ? | ? | ? |
| القدرة الفعالة $P_2 = S \cdot \cos\varphi$ (kW) | ? | ? | ? | ? |
| القدرة المفاعلة $Q = S \cdot \sin\varphi$ (kvar) | ? | ? | ? | ? |
| التيار الفعال $I_a = I \cdot \cos\varphi$ (A) | ? | ? | ? | ? |
| التيار المفاعل $I_r = I \cdot \sin\varphi$ (A) | ? | ? | ? | ? |

٤٨ – ١٥ يغذي مولد تيار ثلاثي الأطوار شبكة 380/220 V. ما مقدار تيار الطور في المولد عند توصيله نجميا (Y) إذا بلغ تيار الموصل 130 A؟

٤٨ – ١٦ ما مقدار جهد الخط في الشبكة إذا وصل مولد تيار ثلاثي الأطوار ذو جهد طور 500 V:
أ) توصيل Y (نجمي) ب) توصيلاً مثلثيا Δ (دلتا)؟

## محوّل التيار ثلاثي الأطوار في منشآت توزيع الطاقة




(١) يتكون التيار ثلاثي الأطوار من ثلاثة تيارات مترددة موصلة الواحد تلو الآخر . ويمكن إجراء التحويل بواسطة ثلاثة محولات أحادية الطور متماثلة ومنفصلة .

(٢) يمكن الاستغناء عن الفرع المشترك غير الحامل للفائف لأن مجموع المجالات المغنطيسية المترددة الثلاثة المتصلة الواحد تلو الآخر يساوي صفرا .

(٣) تكوّن الفروع الثلاثة (I و II و III) الحاملة للفائف محول التيار ثلاثي الأطوار وتوصّل لفائفه نجميا أو مثلثيا أو توصيلاً متعرجا تبعا لنوع الاستخدام .

تقوم محولات التيار ثلاثي الأطوار بنقل الطاقة الكهربائية من محطة التوليد إلى المستهلك ، حيث يجب أن يتغير الجهد في محطة المحولات لشبكة التوزيع لأسباب اقتصادية على عدة مراحل :

أ ) جهد المولد : من 6 kV إلى 10 kV

ب) النقل البعيد المدى:
- إلى مسافة طويلة : 380 kV
- إلى مسافة متوسطة : 220 kV
- إلى مسافة قصيرة : 20 kV

ج) جهد الأحمال 380/220 V (عند المستهلك) .

## القيم الإسمية للمحوّل طبقا لتعليمات VDE 0532 : الجهد الإسمي — التيار الإسمي — القدرة الإسمية

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| طراز | DO 160/20 | رقم | 39999/1 | سنة الصنع | 1960 | VDE 532/59 |
| الحمل الإسمي | 160 kVA | نوع | | التردد | Hz | 50 |
| الجهد الإسمي ڤولط | 1 20 800<br>2 20 000<br>3 19 200 | 400 | | التشغيل<br>مجموعة التوصيل<br>مسلسلة | | DB<br>Yz 5<br>20/05 |
| التيار الإسمي A | 4,62 | 231 | | نوع العزل | | C |
| جهد القصر % | 3,96 | | | تيار القصر | kA | |
| نوع الوقاية | P 43 | | | الفترة القصوى للقصر | | 1,8 s |
| نوع التبريد | DS | | | | | |
| الوزن الكلي t | 0,93 | وزن الزيت t | 0,24 | | | |

الكميات المعطاة على لوحة القدرة لمحول ما ، هي القيم الإسمية :

$U_{N1}$ = الجهد الإسمي لجانب الدخول مثلا :
$U_{N1} = 15000\ V$

$U_{N2}$ = الجهد الإسمي لجانب الخروج مثلا :
$U_{N2} = 400\ V$

$\frac{U_{N1}}{U_{N2}}$ = نسبة التحويل الإسمية ، أي النسبة بين الجهدين الإسميين :

$$t_r = \frac{U_{N1}}{U_{N2}} = \frac{U_H}{U_L} = \frac{15\,000}{400}$$

$I_{N1}$ = التيار الإسمي لجانب الدخول (A)

$I_{N2}$ = التيار الإسمي لجانب الخروج (A)

$S_N$ = القدرة الإسمية لجانب الخروج (VA) أو (kVA) .

## قدرة التحميل المستفادة — قدرة التحميل المعطاة — الكفاية

يكون التحميل لمحول التيار ثلاثي الأطوار إما أوميا أو حثيا أو سعويا ويمكن أن يتغير باستمرار أثناء التشغيل وبذلك لا يكون معلوما مسبقا ، لذلك فإن القدرة الظاهرية على الجانب الثانوي $S_{N2}$ تعطى كقدرة إسمية .

قدرة التحميل المستفادة من المحول : VA
$$S_{N2} = U_{N2} \cdot I_{N2} \cdot 1{,}73$$

قدرة التحميل المعطاة للمحول : VA
$$S_{N1} = U_{N1} \cdot I_{N1} \cdot 1{,}73$$

القدرة الفعالة المستفادة من المحول : W
$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi_2$$

**الكفاية :**

ينشأ فقد في المحول حيث تنقص القدرة الثانوية الفعالة $P_2$ عن القدرة الابتدائية الفعالة $P_1$ بمقدار فقد الحديد $L_{Fe}$ (= الفقد الناشئ عن التخلف المغنطيسي) ، وفقد النحاس $L_{Cu}$ (= الفقد في اللفائف) ويظل فقد الحديد ثابتا في حين يزداد فقد النحاس بزيادة التيار المسحوب ويكون بذلك معتمدا اعتمادامباشرا على مقدار القدرة الظاهرية $S_{N2}$ للحمل المتصل بالجانب الثانوي في مدى التحميل الإسمي . ويكون الفرق بين $P_1$ و $P_2$ وبين معاملي القدرة الفعالة $\cos\varphi$ للجانب الابتدائي والجانب الثانوي صغيرا لدرجة أن تقع الكفاية عند التحميل الإسمي بين 0,95 و 0,99 .

كفاية القدرة :
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + L_{Fe} + L_{Cu}} = \frac{P_2}{P_1}$$

يقاس فقد الحديد في المحولات بواسطة اختبار الدائرة المفتوحة ، أما فقد النحاس فيقاس بواسطة اختبار قصر الدائرة .

٤٩ – ١ محول تيار ثلاثي الأطوار تبلغ قدرته الإسمية 100 kVA والجهد الإسمي لجانب الدخول 10 kV والجهد الإسمي لجانب الخروج 0,4 kV . احسب التيارين الإسميين على الجانبين ذوي الجهد العالي والجهد المنخفض.

الحل :

$$S_N = U_{N1} \cdot I_{N1} \cdot 1{,}73; \quad I_{N1} = \frac{S_N}{U_{N1} \cdot 1{,}73} = \frac{100\ kVA}{10\ kV \cdot 1{,}73} = \underline{5{,}77\ A}$$

$$S_N = U_{N2} \cdot I_{N2} \cdot 1{,}73; \quad I_{N2} = \frac{S_N}{U_{N2} \cdot 1{,}73} = \frac{100\ kVA}{0{,}4\ kV \cdot 1{,}73} = \underline{144\ A}$$

٤٩ – ٢ احسب بواسطة القيم الإسمية شدتي التيارين $I_{N1}$ و $I_{N2}$ لمحولات التيار ثلاثي الأطوار طبقا للجدول

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_N$ (kVA) | 50 | 75 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| $U_{N1}$ (kV) | 6 | 10 | 15 | 20 | 6 | 10 |
| $U_{N2}$ (kV) | 0,231 | 0,4 | 0,525 | 0,4 | 0,525 | 0,231 |

٤٩ – ٣ تحتوي لوحة القدرة لمحول تيار ثلاثي الأطوار على المعطيات : 160 kVA; $U_{N1}$ = 20 kV, $U_{N2}$ = 0,4 kV . احسب التيارات في كل من جانب الدخول وجانب الخروج عند : أ) الحمل الكامل ب) 3/4 حمل ج) نصف حمل د) حمل زائد بمقدار 15%.

٤٩ – ٤ محول تيار ثلاثي الأطوار قدرته الإسمية 125 kVA يعطي 0,4 kV على الجانب ذي الجهد المنخفض. ولفيفة الجانب ذي الجهد العالي مقسمة ويمكن توصيلها على : أ) 20,8 kV ب) 20 kV ج) 19,2 kV . احسب : أ) التيارين الابتدائي والثانوي عند التشغيل الإسمي ب) نسب التحويل الثلاث.

٤٩ – ٥ أعطيت القدرة الإسمية لمحول تيار ثلاثي الأطوار (Dy 5) (مثلثي نجمي) بالقيمة 100 kVA وبلغ الجهد الإسمي العالي 15 kV. ويمكن بواسطة التفرع من لفيفة الجانب ذي الجهد المنخفض أخذ الجهود التالية : 0,38 kV, 0,4 kV, 0,42 kV. ما هي التيارات التي تظهر عند التشغيل الإسمي في لفيفتي الجهد العالي والجهد المنخفض عند الجهود المتصلة؟ ما مقدار نسبة التحويل للمحول في كل حالة؟

٤٩ – ٦ بيانات لوحة القدرة لمحول تيار ثلاثي الأطوار هي : القدرة الإسمية = 160 kVA والجهد العالي = 10 kV والجهد المنخفض = 0,525 kV ومجموعة التوصيل =Yd 5 (نجمي مثلثي) احسب التيارات الإبتدائية والثانوية للخطوط وللأطوار، على فرض أن $S_{N1} = S_{N2}$.

٤٩ – ٧ إذا وجد بالمحول في المسألة السابقة على جانب الدخول (لفة) $N_1 = 800$ لكل طور (فرع). احسب : أ) عدد اللفات $N_2$ لكل طور (فرع) على جانب الخروج ب) نسبة التحويل ج) نسبة عدد اللفات.

٤٩ – ٨ ما هي القدرة الفعالة القصوى $P_2$ التي يمكن أخذها من محول تيار ثلاثي الأطوار ذي 30 kVA, 60/0,4 kV في حالات التحميل الثلاثة التالية :

أ) أجهزة التوهج والصهر $\cos\varphi_2 = 1$ ب) محركات التيار ثلاثي الأطوار $\cos\varphi_2 = 0{,}82$ ج) المصابيح الفلورية $\cos\varphi_2 = 0{,}55$ .

٤٩ – ٩ إذا كانت كفاية المحول في المسألة السابقة عند تحميله أوميا تبلغ 96%. احسب : أ) القدرة الفعالة المسحوبة بواسطته ب) شدة التيار في كل من الجانبين ذي الجهد العالي وذي الجهد المنخفض عند التشغيل الإسمي.

٤٩ – ١٠ يعطي محول تيار ثلاثي الأطوار ذو 50 kVA عند التشغيل الإسمي تيارا قدره 76 A احسب :

أ) الجهد الثانوي $U_{N2}$

ب) الجهد الابتدائي $U_{N1}$ إذا كانت نسبة التحويل (1 : 26,3).

٤٩ – ١١ يأخذ محول تيار ثلاثي الأطوار عند توصيله على 6 kV تيارا قدره 8 A. احسب القدرة الفعالة على جانب الخروج إذا بلغت الكفاية 0,82 ومعامل القدرة $\cos\varphi = 0{,}6$ عند هذا التحميل.

٤٩ – ١٢ ما هي القدرة الفعالة التي يعطيها محول تيار ثلاثي الأطوار قدرته الإسمية $S_{N2}$ = 125 kVA وكان عند $\cos\varphi = 0{,}75$ محملا تحميلا كاملا؟ ما مقدار فقد المحول إذا بلغت الكفاية 0,96؟

٤٩ – ١٣ حمل محول تيار ثلاثي الأطوار 6 kV/0,4 kV من نمط Yz 5 (نجمي متعرج) عند $\cos\varphi = 0{,}82$ بقدرة 12 kW وبلغت الكفاية 0,97. احسب : أ) القدرة الفعالة المستهلكة بواسطة المحول ب) القدرة الظاهرية المعطاة للمحول ج) شدة التيار $I_1$ في لفيفة الجهد العالي.

٤٩ – ١٤ يولد مولد تيار ثلاثي الأطوار جهدا قدره 5 kV ويلزم رفعه إلى 380 kV لنقله لمسافة بعيدة. وتبلغ القدرة الظاهرية المأخوذة بواسطة المحول 120 kVA عند $\cos\varphi_1 = 0{,}9$ وكفاية 0,96 . احسب : أ) التيار الابتدائي $I_1$ . ب) القدرة الفعالة المستهلكة بواسطة المحول $P_1$ ج) نسبة التحويل $t_r$ د) التيار الثانوي $I_2$ والقدرة الظاهرية المستفادة $S_2$ من المحول والقدرة الفعالة المستفادة منه $P_2$ عند معامل قدرة متوسط $\cos\varphi_2 = 0{,}82$.

٤٩ – ١٥ إذا كان لمحول تيار ثلاثي الأطوار قدرة إسمية 20 kVA وفقد في الحديد قدره 230 W وفقد في اللفائف قدره 500 W. احسب الكفاية (η) عند التحميل التام وعند معامل قدرة : أ) $\cos\varphi = 0{,}9$ ب) $\cos\varphi = 0{,}82$ ج) $\cos\varphi = 0{,}7$ د) $\cos\varphi = 0{,}68$ هـ) $\cos\varphi = 0{,}5$

الحل للجزء (أ) :

$$P_2 = S_{N2} \cdot \cos\varphi = 20\ kVA \cdot 0{,}9 = 18\ kW$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + L_{Fe} + L_{Cu}} = \frac{18\,000}{18\,000 + 230 + 500} = \underline{0{,}96}$$

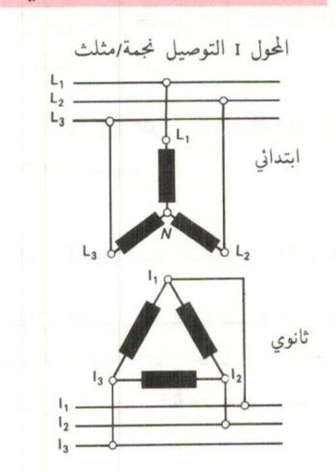
٤٩ – ١٦ يبلغ معامل القدرة لمحول تيار ثلاثي الأطوار ذي قدرة إسمية 100 kVA عند الحمل الكامل 0,86. ما مقدار الكفاية (η) عند قدرة فعالة معطاة له قدرها 90 kW؟

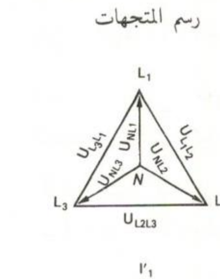
٤٩ – ١٧ يبلغ فقد القدرة في الحديد 825 W في محول تيار ثلاثي الأطوار 160 kVA. وأعطي فقد القدرة في اللفائف بالقيمة 2,2% عند معامل قدرة $\cos\varphi = 1$. فإذا كانت نسب التحميل على مدار اليوم كالتالي :

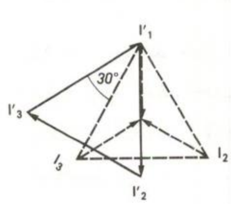
أ) 20% ب) 45% ج) 50% د) 68% هـ) 80% و) 92% ز) 100% من الحمل، احسب لكل حالة تحميل :

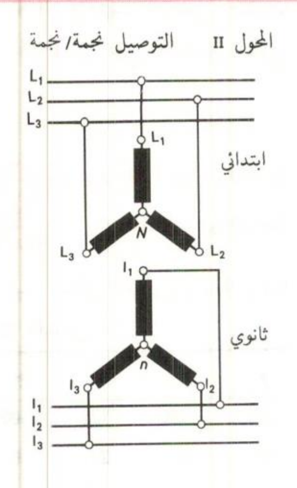
أ) فقد المحول $(L_{Fe} + L_{Cu})$ ب) الكفاية.

## شروط التوصيل على التوازي

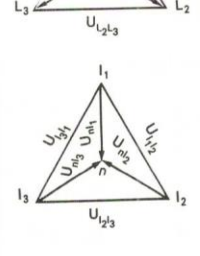


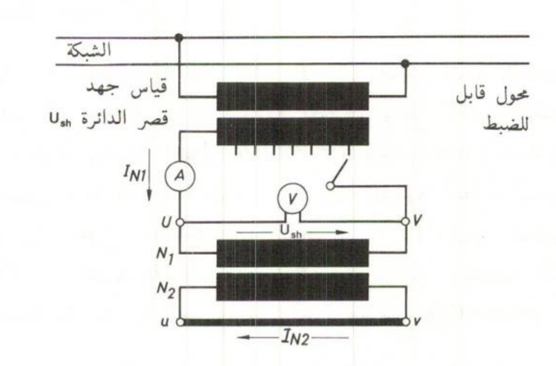




رسم المتجهات




إذا كان جهد الطور الثانوي للمحول I مزاحا بالنسبة للمحول II بمقدار 30° يكون التشغيل على التوازي غير ممكن بسبب خطر حدوث دائرة قصر. ويصبح التشغيل على التوازي ممكنا طبقا لمخطط المتجهات إذا انطبق المثلث $l'_3 - l'_2 - l'_1$ مع المثلث ذي الخطوط المتقطعة.

## جهد دائرة القصر - تيار دائرة القصر




$U_{sh}$ = **جهد دائرة القصر :** هو الجهد بوحدة (V) عند التردد الإسمي والتيار الإسمي في جانب الدخول عند حدوث قصر في ناحية الخروج.

$u_{sh}$ = **عامل قياس جهد دائرة القِصَر** (انظر معطيات لوحة القدرة) ويعطى كنسبة مئوية (%) وينسب عادة إلى القيمة الإسمية $U_N$ :

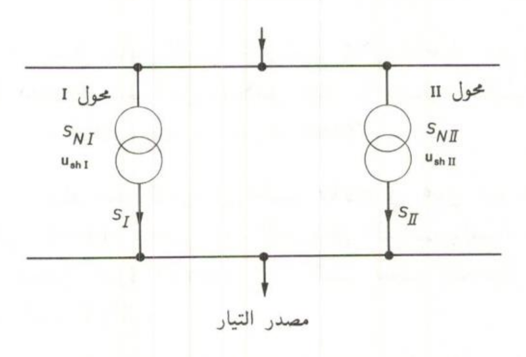
$$u_{sh} = 100\% \cdot \frac{U_{sh}}{U_{N1}} \qquad \%$$

مثلا : $u_{sh} = 3{,}7\%$; 100 000 V من $U_{sh} = 370\ V = 3{,}7\%$

$I_{sh \cdot s}$ = **تيار دائرة القصر الدائم (المستمر) :** يأخذ قيمته بعد تضاؤل نبضة تيار دائرة القصر، ويأخذ قيما عالية ذات خطورة عندما تكون $u_{sh}$ صغيرة.

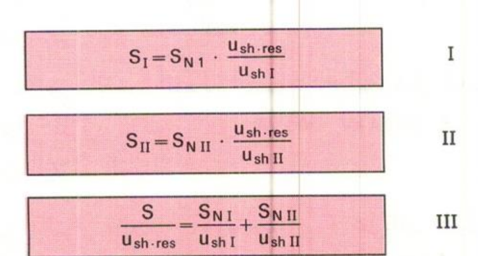
$$I_{sh \cdot s} = I_N \cdot \frac{100\%}{u_{sh}} \qquad A$$

## توزيع التحميل في التشغيل على التوازي




يتناسب توزيع التحميل $S_I$ و $S_{II}$ عكسيا مع عاملي قياس جهود دائرة القصر $u_{sh\,I}$ و $u_{sh\,II}$.

ويحسب توزيع التحميل من القدرات الإسمية $S_I$ و $S_{II}$. ويتطلب ذلك معرفة عامل القياس $u_{sh \cdot res}$ (جهد دائرة القصر الناتج). ويستنبط $u_{sh \cdot res}$ من الصيغة الرياضية III بتعويض الحمل الكامل S.



$$S_I = S_{N\,I} \cdot \frac{u_{sh \cdot res}}{u_{sh\,I}} \qquad \text{I}$$

$$S_{II} = S_{N\,II} \cdot \frac{u_{sh \cdot res}}{u_{sh\,II}} \qquad \text{II}$$

$$\frac{S}{u_{sh \cdot res}} = \frac{S_{N\,I}}{u_{sh\,I}} + \frac{S_{N\,II}}{u_{sh\,II}} \qquad \text{III}$$

تمرينات

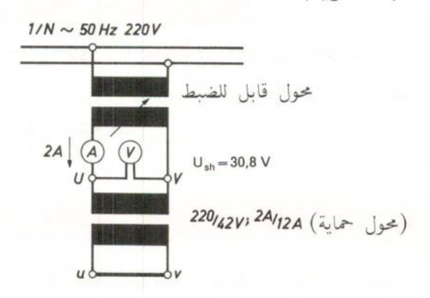
٥٠ – ١ محول بياناته هي $6\ kV/0{,}4\ kV;\ I_2=100\ A$ وعند قصر دائرة لفيفة الجهد المنخفض وصل التيار الابتدائي إلى القيمة الإسمية عندما بلغت قيمة الجهد على الجانب الابتدائي $U_{sh}=300\ V$ . احسب النسبة المئوية لجهد دائرة القصر $u_{sh}$ .

الحل :

$$u_{sh}=100\%\cdot\frac{U_{sh}}{U_{N1}}=100\%\cdot\frac{300\ V}{6000\ V}=\underline{5\%}$$

عند التشغيل الإسمي يفقد في المحول $300\ V \triangleq 5\%$ من الجهد الإسمي العالي $6000\ V=$ ويبلغ الهبوط الداخلي في الجهد 5% من الجهد الابتدائي الإسمي .

٥٠ – ٢ احسب من بيانات دائرة القياس جهد دائرة القصر $u_{sh}$ (كنسبة مئوية) .




٥٠ – ٣ احسب قيم $u_{sh}$ من القيم المقاسة في ثلاثة اختبارات دائرة قصر .

| التجربة | $U_{sh}$ | الجهد الإسمي | محول |
|---|---|---|---|
| ١ | 228 V | 5 kV/0,4 kV | 1~ |
| ٢ | 9,8 V | 220 V/12 V | 1~ |
| ٣ | 270 V | 10 kV/235 V | 1~ |

٥٠ – ٤ تحمل لوحة القدرة لمحول تيار ثلاثي الأطوار المعطيات : $50\ kVA,\ 10000\ V/400\ V,\ u_{sh}=3{,}7\%$ .

احسب : أ) شدتي التيارين الإسميين $I_{N1}$، $I_{N2}$ .

ب) شدتي تياري دائرة القصر $I_{sh\cdot s1}$ و $I_{sh\cdot s2}$ اللتين تنضبطان بعد تضاؤل نبضة تيار دائرة القصر على الجانبين الابتدائي والثانوي للمحول .

الحل :

$$I_{N1}=\frac{S_N}{U_{N1}\cdot 1{,}73}=\frac{50\,000\ VA}{10\,000\ V\cdot 1{,}73}=\underline{2{,}89\ A}$$

$$I_{N2}=\frac{S_N}{U_{N2}\cdot 1{,}73}=\frac{50\,000\ VA}{400\ V\cdot 1{,}73}=\underline{72{,}25\ A}$$

$$I_{sh\cdot s1}=I_{N1}\cdot\frac{100\%}{u_{sh}}=2{,}89\ A\cdot\frac{100\%}{3{,}7\%}=\underline{78\ A}$$

$$I_{sh\cdot s2}=I_{N2}\cdot\frac{100\%}{u_{sh}}=72{,}25\ A\cdot\frac{100\%}{3{,}7\%}=\underline{1952\ A}$$

٥٠ – ٥ إحسب لمحول تيار ثلاثي الأطوار بالقيم الإسمية الآتية : $S=1600\ kVA;\ 30\ kV/0{,}4\ kV;\ u_{sh}=6\%;$

أ ) شدتي التيارين الإسميين $I_{N1}$ و $I_{N2}$

ب) شدتي تياري دائرة القصر $I_{sh\cdot s1}$ و $I_{sh\cdot s2}$ .

٥٠ – ٦ محول تيار ثلاثي الأطوار له القيم الإسمية الآتية : $160\ kVA;\ 20{,}8\ kV/0{,}4\ kV;\ u_{sh}=3{,}96\%$ يوجد على جانب الخروج له دائرة قصر :

احسب :

أ ) تيار دائرة القصر الدائم $I_{sh\cdot s2}$

ب) نبضة تيار دائرة القصر $I_{pulse}$ $(I_{pulse}=2{,}54\cdot I_{sh\cdot s2})$

٥٠ – ٧ احسب :

أ ) تيار دائرة القصر الدائم $I_{sh\cdot s1}$

ب) نبضة تيار دائرة القصر $I_{pulse}$ إذا نشأ على جانب الجهد العالي لمحول تيار ثلاثي الأطوار $500\ kVA;\ 15\ kV/0{,}525\ kV$ عند دائرة القصر $u_{sh}=6\%$.

٥٠ – ٨ نشأت دائرة قصر على الجانب الثانوي لمحول جرس للقيم الإسمية التالية : $20\ VA;\ 220\ V/8\ V;\ u_{sh}=40\%$

احسب : أ) تيار دائرة القصر الدائم $I_{sh\cdot s2}$ ب) نبضة تيار دائرة القصر $I_{pulse}$ .

٥٠ – ٩ يحتوي الجدول التالي على القيم الإسمية للمحولات الآتية : أ) محول حماية ب) محول جرس ج) محول إشعال . احسب القيم الناقصة في هذا الجدول .

| محول حماية | محول جرس | محول اشعال |
|---|---|---|
| $S=1000\ VA$ | $S=7{,}5\ VA$ | $S=84\ VA$ |
| الجهد الإسمي | الجهد الإسمي | الجهد الإسمي |
| $380\ V/24\ V=$ | $220\ V/5\ V=$ | $220\ V/140\ V=$ |
| $u_{sh}=15\%$ | $u_{sh}=40\%$ | $u_{sh}=100\%$ |
| $I_{sh\cdot s1}=?$ | – | $I_{sh\cdot s1}=?$ |
| $I_{sh\cdot s2}=?$ | $I_{sh\cdot s2}=?$ | $I_{sh\cdot s2}=?$ |
| التيار $I_{pulse}$ في الجانب الإبتدائي | التيار $I_{pulse}$ في الجانب الثانوي | التيار $I_{pulse}$ في الجانب الثانوي |

٥٠ – ١٠ إذا أريد أن يعمل محولان I ، II معا على التوازي ومعطياتهما على التوالي هي :

$u_{shI}=4\%$ و $S_{NI}=50\ kVA$

$u_{shII}=3\%$ و $S_{NII}=125\ kVA$

احسب توزيع التحميل $S_I$ و $S_{II}$ لحمل كلي قدره $S=175\ kVA$ .

الحل :

$$\frac{S}{u_{sh\cdot res}}=\frac{S_{NI}}{u_{shI}}+\frac{S_{NII}}{u_{shII}}=\frac{50\ kVA}{4\%}+\frac{125\ kVA}{3\%}=5417\ kVA$$

$$u_{sh\cdot res}=\frac{S}{5417}=\frac{175\ kVA}{5417\ kVA}=3{,}23\%$$

$$S_I=S_{NI}\,\frac{u_{sh.res}}{u_{shI}}=50\ kVA\cdot\frac{3{,}23\%}{4\%}=\underline{40{,}5\ kVA}$$

$$S_{II}=S_{NII}\cdot\frac{u_{sh.res}}{u_{shII}}=125\ kVA\cdot\frac{3{,}23\%}{3\%}=\underline{134{,}5\ kVA}$$

$$S=S_I+S_{II}=40{,}5\ kVA+134{,}5\ kVA=\underline{175\ kVA}$$

٥٠ – ١١ يعمل محولان الأول $S_{NI}=20\ kVA$ و $u_{shI}=3\%$ والثاني $S_{NII}=60\ kVA$ و $u_{shII}=3\%$ على شبكة مشتركة . احسب توزيع التحميل لكل محول إذا بلغ الحمل الكلي $S=75\ kVA$.

٥٠ – ١٢ محولان I و II بياناتهما هي : $u_{shI}=2\%;\ S_{NI}=100\ kVA,$ $20\ kV/0{,}4\ kV;$ و $S_{NII}=160\ kVA;\ u_{shII}=2{,}5\%;$ $20\ kV/0{,}4\ kV$. احسب للتشغيل على التوازي على قضبان التوصيل بالحمل الكامل كلا من :

أ) جهد دائرة القصر الناتج ب) توزيع الحمل على كل محول ج) تيارات الخروج لمحول التيار ثلاثي الأطوار .

٥٠ – ١٣ ثلاثة محولات بياناتها هي :

. $S_{NI}=100\ kVA,\ u_{shI}=2\%;\ S_{NII}=150\ kVA,\ u_{shII}=2{,}5\%;$

. $S_{NIII}=200\ kVA,\ u_{shIII}=3{,}5\%$

تعمل على التوازي . احسب التحميل الكلي المسموح به إذا لزم ألا يحمل أي محول تحميلا زائدا بسبب جهود دائرة القصر المتباينة .

## سرعة الدوران - التفويت - تردد العضو الدوار

مثال : 50 Hz

أزواج أقطاب 2

1425 r.p.m.

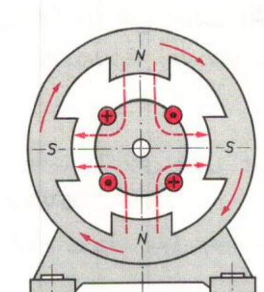
$$n_F = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2}$$

$$n_F = 1500 \text{ r.p.m.}$$

$$s = n_F - n = 1500 - 1425$$

$$s = 75 \text{ r.p.m.}$$

$$\frac{s}{n_F} = \frac{5\%}{100\%} = \frac{2,5 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}}$$




أ ) يدور المجال المغنطيسي للعضو الساكن في كل دورة من دورات التيار المتردد بمقدار زوج أقطاب واحد NS (شمالي - جنوبي) . وتكون سرعة دوران المجال ($n_F$) = سرعة الدوران التزامنية :

$$n_F = \frac{f \cdot 60}{p} \quad \text{r.p.m.}$$

ب ) يستمر دوران العضو الدوار المقصر الدائرة بواسطة المجال ثلاثي الأطوار فقط ما دام دورانه أبطأ لأنه لا تستحث أية ق.د.ك عند تساوي سرعة الدوران .

سرعة دوران العضو الدوار :

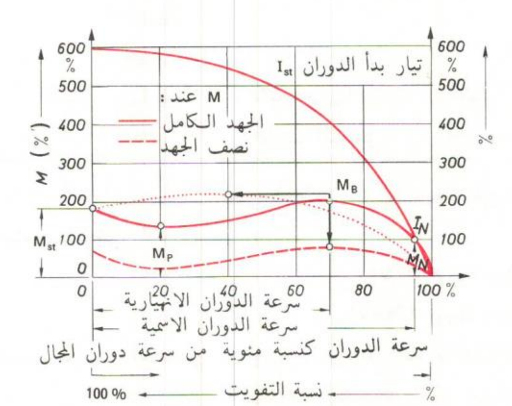
$$n = n_F - s \quad \text{r.p.m.}$$

ج ) يسمى الفرق في سرعة الدوران $s = n_F - n$ ، «بالتفويت» وهو يتحكم في تردد العضو الدوار $f_2$ ويعطى بالوحدة (r.p.m.) أو كنسبة مئوية من $n_F$ :

$$\frac{s}{n_F} = \frac{s\,\%}{100\%} = \frac{f_2}{f}$$

د ) تنخفض سرعة الدوران بزيادة تحميل المحرك بينما يرتفع التفويت s . ويتغير عزم الدوران M وبالتالي قوة الشد للمحرك مع سرعة الدوران n .

## منحنى عزم الدوران — عزم بدء الدوران — تيار بدء الدوران — مقاومة العضو الدوار




منحنى M مع تغير مقاومة العضو الدوار $R_R$ .

M

محرك — SL

$R_a = 5 \cdot R_R$

200 %

100

من $M_N$

0 50 100 % n

أ ) **عزم بدء الدوران ($M_{st}$)** : يتحرك المحرك من حالة السكون بواسطة جذب مجموعة الحركة .

عزم الدوران البادئ للحركة $M_p$ = أصغر عزم دوران عند إطلاق (تعجيل) المحرك

$$M_{st} = 1 \cdots 2 \cdot M_N \qquad M_{st} \sim U^2$$

ب) **عزم الدوران الانهياري $M_B$** هو أكبر عزم دوران للمحرك ، وعند زيادة التحميل تنخفض n وترتفع s وتزداد ق.د.ك و $I_2$ في العضو الدوار . عند عزم الدوران الانهياري يظهر فقد في العزم M وذلك بسبب الوضع غير الملائم للأقطاب وتنهار سرعة الدوران ويبقى المحرك ساكنا :

$s \to f_2 \to X_{L2} \to \varphi_2$ وتتراوح قيمة التفويت الانهياري بين 20% و 30%

$$M_B = 1{,}6 \cdots 2{,}5 \cdot M_N$$

ج) يرتفع تيار العضو الساكن مع زيادة نسبة التفويت إلى تيار بدء الدوران :

$$I_{st} = 6 \cdots 8 \cdot I_N$$

د ) يتسبب خفض جهد بدء التشغيل (- - -) أو زيادة مقاومة العضو الدوار $R_R$ (.....) في خفض تيار بدء الإدارة . فإذا انخفضت U تنخفض I في تناسب طردي و P و M في تناسب تربيعي $(\frac{U}{2} \to \frac{M}{4})$ : أي أن منحنى M يهبط .

هـ ) بزيادة $R_R$ (عضو دوار يعمل بظاهرة التركيز السطحي للتيار أوعضو دوار ذو حلقة انزلاقية) ينخفض تيار بدء الدوران دون فقد في العزم M وتزيد نسبة التفويت s في تناسب طردي : $(R_R \cdot 2 \to s \cdot 2)$ وينحرف منحنى M نحو اليسار (انظر المنحنى الخصائصي لعزم الدوران) .

و ) يجب أن تؤخذ تيارات بدء الدوران قصيرة المدة في الاعتبار بالنسبة **للمصاهر ومساحة مقطع الموصل .**

١ - عضو دوار ذو قضيب مستدير (قفص السنجاب) :

$I_{st} \approx 6 \cdots 8 \cdot I_N$

٢ - عضو دوار يعمل بظاهرة التركيز السطحي للتيار :

$I_{st} \approx 3 \cdots 6{,}5 \cdot I_N$

٣ - عضو دوار ذو حلقة انزلاقية : $I_{st} \approx 1{,}5 \cdots 2{,}5 \cdot I_N$

٤ - بدء دوران نجمي - مثلثي : $I_{st} \approx 1/3$

ز ) زمن بدء الدوران :

$$t = 4 + 2 \cdot \sqrt{P_{kW}} \quad \text{s}$$

تمرينات

٥١ – ١ ما مقدار سرعة دوران المجال الدوّار في محرك غير متزامن لتيار ثلاثي الأطوار عند الترددات:
أ) $16\frac{2}{3}$ Hz ب) 50 Hz ج) 60 Hz لأعداد أزواج الأقطاب التالية: 2, 5, 8, 10 ؟

٥١ – ٢ إذا كان لمحركات التيار الثلاثي الأطوار العادية عند $f=50$ Hz تسلسل سرعات الدوران التالية:
3000; 1500; 1000; 750; 600; 500 r.p.m.
ما مقدار سرعة دوران عمود الإدارة عند الحمل الكامل إذا بلغت نسبة التفويت 6% ؟

٥١ – ٣ ما مقدار سرعة دوران عمود إدارة محرك غير متزامن لتيار ثلاثي الأطوار ذي أربعة أقطاب وذي نسبة تفويت 4,2% عند التوصيل على الترددات التالية:
أ) $16\frac{2}{3}$ Hz ب) 50 Hz ج) 60 Hz د) 100 Hz.

٥١ – ٤ محرك تيار ثلاثي الأطوار غير متزامن ذو 8 أقطاب. احسب سرعة دوران المجال عند التوصيل على الترددات التالية: أ) $f=50$ Hz ب) $f=250$ Hz.

٥١ – ٥ تصنع محركات خاصة للتيار ثلاثي الأطوار لتردد $f=60$ Hz للاستخدام في الولايات المتحدة الأمريكية.
أ) ما هي سرعات دوران المجال الدوّار الناتج من الأنواع ذات 2, 4, 6, 8, 10 أقطاب؟
ب) ما مقدار نسبة التفويت (%) لمحرك سرعة دوران عمود إدارته 850 r.p.m. ؟

٥١ – ٦ يحتوي محرك تيار ثلاثي الأطوار يمكن تغيير أقطابه على لفيفتين منفصلتين عن بعضهما البعض يمكن توصيلهما للتشغيل بأربعة أو ستة أقطاب. ما هما سرعتا الدوران للمحرك عند $f=50$ Hz عند التشغيل الإسمي بتفويت قدره 8% وعند اللاحمل بتفويت قدره 0,8%؟

٥١ – ٧ احسب القيم الناقصة بالجدول:

| | التردد f (Hz) | عدد أزواج الاقطاب p | نسبة التفويت s (%) أو (r.p.m.) | سرعة دوران عمود الادارة n (r.p.m.) | سرعة المجال الدوار $n_F$ (r.p.m.) |
|---|---|---|---|---|---|
| أ) | 50 | 3 | 5% | ? | ? |
| ب) | ? | 2 | 4% | 1728 | ? |
| ج) | 16 2/3 | ? | 30 r.p.m. | 220 | ? |
| د) | ? | 1 | 90 r.p.m. | ? | 1500 |
| هـ) | 50 | 8 | ? % | 364 | ? |
| و) | 16 2/3 | ? | ? % | 238 | 250 |

٥١ – ٨ معطيات لوحة القدرة لمحرك تيار ثلاثي الأطوار هي: 500 V, 20 kW والكفاية 89%، ومعامل القدرة 0,87. احسب مقدار تيار بدء الدوران لأنواع الأعضاء الدوارة التالية:
أ) عضو دوار ذي قضيب مستدير (قفص سنجابي): $I_{st}=8\cdot I_N$
ب) عضو دوار يعمل بظاهرة التركيز السطحي للتيار: $I_{st}=4,5\cdot I_N$
ج) عضو دوار ذي حلقة إنزلاقية: $I_{st}=1,5\cdot I_N$

٥١ – ٩ ما هو زمن بدء الدوران مقدرا بالثواني بالحمل الكامل لمحركات تيار ثلاثي الأطوار قدراتها الإسمية:
أ) 1,5 kW ب) 2,2 kW ج) 3 kW د) 4 kW
هـ) 5,5 kW و) 7,5 kW ز) 14 kW ح) 18 kW

٥١ – ١٠ أوجد باستخدام معطيات الجدول:
١ – القدرة المعطاة للمحرك $P_1$، ٢ – التيار الإسمي I، ٣ – تيار بدء الدوران $I_{st}$، ٤ – قدرة تحميل المصهر (A)، ٥ – مساحة مقطع الموصل (mm²) المصنوع من النحاس مجموعة 1.

| | أ | ب | ج | د |
|---|---|---|---|---|
| القدرة الإسمية P | 1,5 kW | 3 kW | 5,5 kW | 28 kW |
| الجهد الإسمي U | 220 V | 380 V | 380 V | 500 V |
| الكفاية η | 82% | 84% | 83% | 88% |
| معامل القدرة | 0,83 | 0,86 | 0,83 | 0,86 |
| توصيل بدء الدوران | مباشر | مباشر | Y/Δ | محرك -SL |
| النسبة $\frac{I_{st}}{I_N}$ | (7) أمثال | (6,5) أمثال | (2,5) أمثال | (1,5) أمثال |

٥١ – ١١ إذا كانت بيانات المصهر ومساحة مقطع موصل النحاس طبقا لتعليمات VDE 0100 هي:
مجموعة 1:

| I (A) | A (mm²) |
|---|---|
| 16 | 1,5 |
| 20 | 2,5 |
| 25 | 4 |
| 35 | 6 |
| 50 | 10 |
| 60 | 16 |

باستخدام منحنى العلاقة المبين لقدرة احتمال المصاهر البطيئة، عين بيانات المصهر اللازم لمحرك تيار ثلاثي الأطوار ذي تيار بدء دوران $I_{st}=63$ A، إذا كان زمن بدء الدوران هو $t=11$ s.

الحل:
بعد 11 s يقطع منحنى العلاقة 3 أمثال تيار المصهر $\frac{63\ A}{3}=21\ A$
يختار: مصهر 25 A.
مساحة المقطع A من النحاس مجموعة 1 = 4 mm².

٥١ – ١٢ في محرك تيار ثلاثي الأطوار قدرته 15 kW وجهده $U=380$ V وسرعة دورانه $n=2880$ r.p.m. يستنتج من المنحنى الخصائصي لعزم الدوران، أن عزم الدوران $M_{st}$ يساوي ضعف عزم الدوران الإسمي $M_N$. ما مقدار النسبة $M_{st}/M_N$ عند بدء الدوران نجميا ثم مثلثيا (Y/Δ)؟

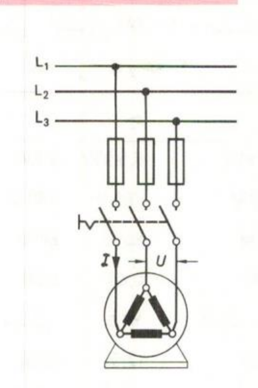
الحل:
في التوصيل Y يصبح جهد الطور ($U_{ph}$) أصغر بمقدار $\frac{1}{1,73}$ مرة.
ونظرا لأن $M_{st}\sim U^2$ فإن $M_{st}$ تصبح أصغر بمقدار $\left(\frac{1}{1,73}\right)^2$ مرة
أي بمقدار: $\frac{1}{1,73}\cdot\frac{1}{1,73}=\frac{1}{3}$

$$\frac{M_{st}}{M_N}=\frac{1/3\cdot 2}{1}=\frac{2/3}{1}=\frac{2}{3}$$

٥١ – ١٣ يعطي محرك تيار ثلاثي الأطوار عند سرعة دورانه الإسمية $n=1440$ r.p.m.، قدرة إسمية مقدارها 4 kW. احسب:
أ) عزم الدوران الإسمي $M_N$
ب) عزم بدء الدوران $M_{st}$ ($M_{st}\approx 1,6\cdot M_N$).

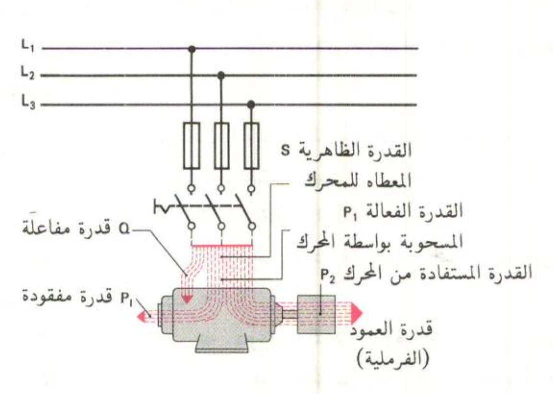
٥١ – ١٤ ما هي القوة F التي يؤثر بها محرك على محيط بكرة قطرها 200 mm عند بدء الدوران المباشر:
أ) لحظة بدء الدوران ب) عند الحمل الكامل؟

## القدرة المطلوبة - قيم التشغيل - القيم الإسمية




لوحة بيانات القدرة لمحرك ثلاثي الأطوار وعضو دوار بحلقات انزلاقية




أ ) تحسب القدرة المذكورة على لوحة بيانات القدرة عند عمود الإدارة بالمحرك بالصيغ الآتية :

$P_2 = \frac{U \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{1000}$ kW $P_2 = \frac{M \cdot n}{9550}$

ب) عند تغير تحميل المحرك تتغير قيم التشغيل : n (أنظر مقياس سرعة الدوران) و $P_2$ $\left(\frac{M \cdot n}{9550}\right)$ (من المنحنى الخصائصي) و $P_1$ $\left(\frac{n \cdot 60}{c}\right)$ (من العداد) و I (من الأمبيرمتر) و $S\,(U \cdot I \cdot 1{,}73)$ و $\cos\varphi$ $\left(\frac{P_1}{S}\right)$ و $\eta$ $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$.

ج) يتم حساب قيم المحركات للتشغيل الإسمي (أنظر لوحة بيانات القدرة) وتتوقف قيم كل من P و n و I و cosφ و η عند التوصيل على U و f عند التحميل الإسمي أما بالنسبة لقيم التوصيل Y△ فتكون قيم الطور في الحدود المسموح بها إذا كانت قيم بيانات المحرك صغيرة.

د) تكون أفضل قيم للكفاية ولمعامل القدرة الفعالة للمحرك عند التحميل الإسمي :

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$

$P_l = P_1 - P_2$

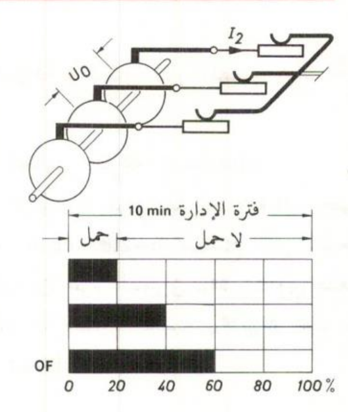
$S = U \cdot I \cdot 1{,}73$

$P_1 = U \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi$

$Q = U \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \sin\varphi$

$P_2 = U \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi \cdot \eta$

## فترة الوصل النسبية - منحنى التشغيل - تيار بدء التشغيل



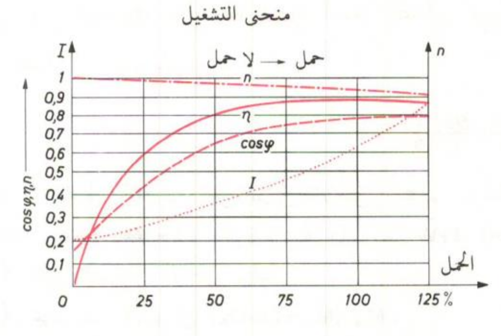

في حالة الأحمال الصغيرة يمكن أيضا تحميل محرك ذي فترة وصل تحميلا ثابتا (مستمرا)

OF = معامل التشغيل (Operating Factor)

$\frac{P_2}{P_1} = \sqrt{\frac{OF_1}{OF_2}}$

$P_2 = P_1 \cdot \sqrt{\frac{OF_1}{OF_2}}$

منحنى التشغيل




أ ) تحتاج الأعضاء الدوارة ذات الحلقة الانزلاقية إلى بادئ تشغيل للعضو الدوار. وتحسب $I_2$ في موصل بدء التشغيل طبقا لتعليمات VDE 0650 بواسطة $U_0$ (جهد سكون العضو الدوار) وقدرة المحرك كما يلي :

عضو دوار ثلاثي الأطوار: $I_2 = 606 \cdot \frac{P_{kW}}{U_0}$

عضو دوار ثنائي الأطوار: $I_2 = 745 \cdot \frac{P_{kW}}{U_0}$

ب) القدرة الإسمية $P_2$ = القدرة المعطاة المسموح بها للتشغيل المتواصل CO (=Continuous Operation)، وللتشغيل لمدة وجيزة بالدقائق SO (min) (=Short-period Operation) وللتشغيل المتقطع IO (=Intermitted Operation) كنسبة مئوية % من OF.

ج) تسمى النسبة بين زمن فترة التشغيل والزمن الكلي لدورة التشغيل بمعامل التشغيل النسبي (OF). والقيم القياسية للنسبة هي (20, 40, 60% OF).

تعمل المحركات ذات معطيات OF بالتشغيل المتقطع أي تتعاقب فترات الحمل واللاحمل على مدار فترة دورة التشغيل.

$$OF = \frac{\text{زمن فترة التشغيل}}{\text{الزمن الكلي لدورة التشغيل}} \cdot 100\%$$

د) تبين منحنيات التشغيل (سرعة الدوران = n والكفاية = η ومعامل القدرة = cosφ والتيار المسحوب = I) تغير الكميات مع أوضاع التحميل : لاحمل - حمل جزئي - حمل كامل - حمل زائد.

تمرينات: ٥٢ – ١ احسب القيم الناقصة من القيم الإسمية بالجدول لمحركات التيار ثلاثي الأطوار غير المتزامنة .

| | القدرة المعطاة للمحرك $P_1$ (kW) | الـكفاية $\eta$ | معامل القدرة $\cos\varphi$ | القدرة الإسمية $P_2$ | التيار الإسمي I (A) | الجهد الإسمي U (V) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| أ ) | ? | 82% | 0,85 | 1,8 kW | ? | 220 |
| ب) | 5,72 | 0,84 | 0,88 | ? kW | ? | 380 |
| جـ) | ? | 86% | ? | 12 000 W | 18,5 | 500 |
| د ) | 2,6 | ? | ? | 2,2 kW | 4,8 | 380 |
| هـ ) | 6,4 | ? | 0,86 | 5,5 kW | 8,6 | ? |
| و ) | ? | 0,88 | 0,87 | ? kW | 51,5 | 220 |
| ز ) | ? | ? | 0,68 | 550 W | 2,85 | 220 |
| ح ) | 8,8 | 0,85 | 0,85 | ? kW | ? | 500 |
| ط ) | 1,9 | 78% | ? | ? kW | 6,6 | 220 |
| ي ) | 0,51 | ? | 0,595 | 330 W | 1,3 | ? |
| ك ) | ? | 84,5% | 0,82 | 7,5 kW | ? | 380 |
| ل ) | 13,1 | ? | ? | 11 kW | 18 | 500 |

٥٢ – ٢ محرك تيار ثلاثي الأطوار بياناته هي : 380 V, 5,5 kW ومعامل القدرة 0,86 وكفايته 0,84. احسب بواسطة هذه المعطيات قيم :

أ ) القدرة المعطاة للمحرك (kW) والقدرة المستفادة منه (kW)

ب) التيار المسحوب I .

٥٢ – ٣ ما هي القدرة التي يأخذها محرك تيار ثلاثي الأطوار عند الحمل الـكامل إذا كانت المعطيات الموجودة على لوحة القدرة هي : $\cos\varphi=0,77$ ;4,6 A ;380 V ;1,8 kW؟ ما مقدار كفايته ومعامل قدرته المفاعلة عند التشغيل الإسمي؟

٥٢ – ٤ ما مقدار معامل القدرة لمحرك تيار ثلاثي الأطوار يسحب عند توصيله على تيار ثلاثي الأطوار ذي جهد 220 V تيارا قدره 11,8 A ، ويستهلك قدرة قدرها 3,6 kW . ما هي القدرات الظاهرية والمفاعلة التي يسحبها المحرك من الشبكة؟

٥٢ – ٥ لأي جهد صمم محرك تيار ثلاثي الأطوار قدرته 12 kW وكفايته 86% ومعامل قدرته 0,87 إذا احتاج إلى 18,5 A في خط التغذية عند التحميل الإسمي؟

٥٢ – ٦ يستهلك محرك تيار ثلاثي الأطوار يعمل على 380 V عند 2,8 A من خط التغذية قدرة مقدارها 1,45 kW . إحسب :

أ ) معامل القدرة الفعالة

ب) زاوية الإزاحة الطورية

جـ) معامل القدرة المفاعلة

د ) الـكفاية إذا أعطى المحرك 1,1 kW عند عمود الإدارة .

٥٢ – ٧ تحتوي بيانات المصنع المنتج لمحرك تيار ثلاثي الأطوار على المعطيات : $\cos\varphi=0,82$; $\eta=84\%$; 3 kW, Y 380 V احسب :

أ ) تيار الخط في التوصيل النجمي على 3 ~ 50 Hz/380 V

ب) تيار الخط في التوصيل المثلثي على 3 ~ 50 Hz/220 V .

٥٢ – ٨ احسب معاملي القدرة الفعالة والمفاعلة لمحرك تيار ثلاثي الأطوار 3000 V (3 kV) يستهلك عند التوصيل على 3 ~ 50 Hz قدرة مقدارها 137 kW وتياراً قدره 30 A.

٥٢ – ٩ يقوم مفتاح Y/Δ موصل على 380 V ببدء التشغيل لعضو دوار مقصر الدائرة يعمل على جهد قدره 380/660 V . ما مقدار التيار I في الخط في مرحلة Y ومرحلة Δ إذا بلغت مقاومة الطور 8 Ω؟

٥٢ – ١٠ لوحة القدرة لمحرك تيار ثلاثي الأطوار بياناتها كما يلي : n = 2850 r.p.m.; f = 50 Hz

احسب التردد $f_2$ للتيار المستحث في العضو الدوار .

٥٢ – ١١ محرك غير متزامن ذو عضو دوار بحلقات انزلاقية (ثلاثي الأطوار) ، معطيات لوحة القدرة به هي : I = 31 A ; $P_2$ = 15,6 kW جهد السكون للعضو الدوار : $U_o$ = 78 V احسب شدة التيار $I_2$ في العضو الدوار .

٥٢ – ١٢ احسب شدة التيار $I_2$ في العضو الدوار عند بدء الدوران بحمل كامل. ثم اوجد مساحة مقطع موصل بادئ التشغيل إذا كان من النحاس مجموعة 2 وذلك للمحركات بالجدول التالي :

| لفيفة العضو الدوار | جهد السكون للعضو الدوار $U_o$(V) | القدرة الإسمية (kW) |
|---|---|---|
| أ ) ثلاثي الأطوار | 58 | 1,2 |
| ب) ثلاثي الأطوار | 100 | 2,6 |
| جـ) ثنائي الأطوار | 140 | 5 |
| د ) ثنائي الأطوار | 220 | 10 |
| هـ) ثنائي الأطوار | 235 | 20 |
| و ) ثنائي الأطوار | 265 | 34 |

٥٢ – ١٣ محرك تيار ثلاثي الأطوار معطيات لوحة قدرته هي : 5 kW ومعامل التشغيل الإسمي 20%. كم كيلوواط يمكن تحميلها للمحرك تحميلا ثابتا (مستمرا)؟

٥٢ – ١٤ يراد استخدام محركات غير متزامنة بمعطيات OF- بطريقة تشغيل أخرى .

احسب القدرة الجديدة $P_2$ من معطيات الجدول التالي :

| القدرة الحالية $P_1$ | عند $OF_1$ | عند OF الجديدة = $OF_2$ |
|---|---|---|
| أ ) 4 kW | 40% | 100% |
| ب) 5,5 kW | 100% | 20% |
| جـ) 3 kW | 60% | 100% |
| د ) 15 kW | 60% | 20% |

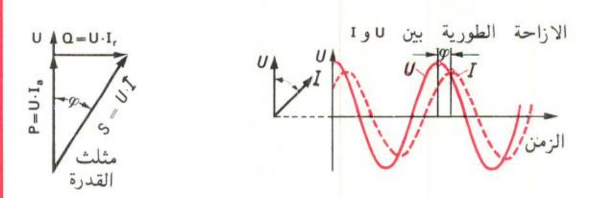
٥٢ – ١٥ يعمل محرك تيار ثلاثي الأطوار 7,5 kW يوميا بقيم التحميل التالية : أ ) الحمل الإسمي 6 h 30 min ، بكفاية 0,85 ب) نصف حمل 4 h 20 min ، بكفاية 0,83 جـ) ربع حمل 2 h 40 min ، بكفاية 0,8 . احسب تكلفة التشغيل الشهرية (22 يوما) إذا كلف 1 kWh مبلغ 0,12 SR.

## أساسيات الإزاحة الطورية

تسحب الأحمال الحثية (المحركات اللاتزامنية ومحولات اللحام والملفات الخانقة ...الخ) طاقة مفاعلة من الشبكة، بالإضافة إلى الطاقة الفعالة، لتكوين المجالات المغنطيسية.

وبالجمع الهندسي لكل من التيار الفعال $I_a$، الذي يتحول إلى ضوء أو حرارة أو شغل ميكانيكي، وتيار المغنطة المفاعل $I_r$ نحصل على قيمة التيار $I$. كما توجد علاقة مشابهة كذلك بالنسبة للقدرة.

يتأخر التيار المفاعل $I_r$ عن جهد الأطراف $U$ بمقدار 90°، في الشبكات التي بها تحميل حثي، مما يسبب إزاحة طورية بين الجهد $U$ والتيار $I$ بمقدار الزاوية $\varphi$.

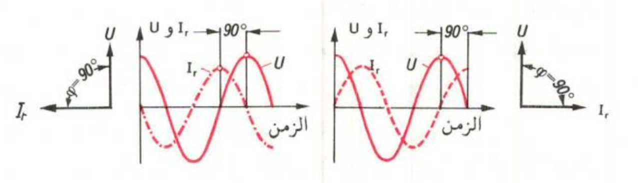


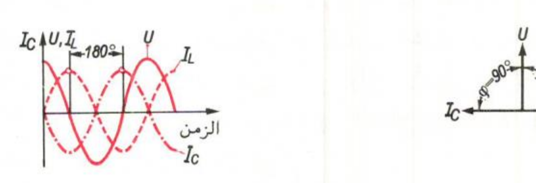

وتكون زاوية الإزاحة الطورية مقياسا للفارق الزمني الذي يصل فيه كل من $U$ و $I$ إلى قيمتيهما العظميين أو الصغريين. وكلما زادت الإزاحة الطورية انخفض معامل القدرة وقلت اقتصادية المنشأة، لأن التيار المفاعل الذي يتأرجح في الشبكة ذهابا وإيابا يحمّل المولد والموصلات والمحولات وينتج بالإضافة إلى ذلك هبوطاً في الجهد وفقدا حراريا في التيار.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{I_a \cdot U}{I \cdot U} = \frac{I_a}{I}$$

## معادلة الطور – تحسين معامل القدرة

تقوم مزيحات الطور (مثل المكنات التزامنية أو اللاتزامنية ذات الإثارة الزائدة) بخفض زاوية الإزاحة $\varphi$ بين $U$ و $I$. إلا أن المكثفات، التي هي مزيحات طور ساكنة، تعتبر أكثر اقتصادية من مزيحات الطور الدورانية. ويجب أن تكون سعة المكثفات الموصلة مع حمل كبير على التوازي كبيرة، بحيث يتكون التيار المتقدم $I_C$ للمكثف، الذي يساوي تماما تيار المغنطة المفاعل المتأخر $I_L$ (انظر مخطط المتجهات التابع)، حيث يتساوى التياران في المقدار لكنهما يختلفان في الاتجاه، وبذا يلغيان بعضهما. ويزيد المكثف من معامل القدرة ويخفف الأحمال عن المحولات والمولدات كما يمكن من زيادة التحميل على الشبكة بقدر كبير.

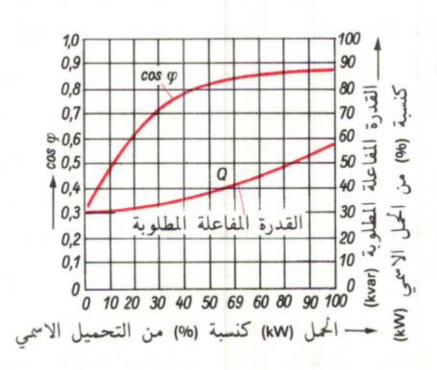



## المعادلة الفردية: قدرة المكثف – معامل القدرة (cosφ) عند التحميل

يتوقف كل من القدرة المفاعلة المطلوبة ومعامل القدرة (cos) على التحميل. ويجب أخذ قيمة التيار المفاعل المطلوب للمحرك في حالة اللاحمل كأساس عند تعيين قيمة C لتجنب المعادلة الزائدة عن الضرورة. وتتم تغطية حوالي نصف التيار المفاعل المطلوب عند التحميل الإسمي في حالة المعادلة التامة ($\cos\varphi = 1$) وبذا ينضبط معامل القدرة الفعالة عند التحميل الإسمي عند القيمة: $\cos\varphi \approx 0{,}9$.

أما في حالة المعادلة الفردية لمحركات التيار ثلاثية الأطوار فتوصل مجموعات المكثفات دائما في اتصال مثلثي (Δ). وفي حالة توصيلها نجميا (Y) توصل المكثفات على جهد الطور ($U_{ph}$) وتعادل ثلث القدرة المفاعلة فقط في حالة توصيلها مثلثيا (Δ). ويمكن تحويل قدرة المكثف المستخرجة من الجداول أو المحسوبة طبقا للصيغة الرياضية التالية للحصول على قيمة السعة.




$$Q_c = \frac{U^2}{X_c} = \frac{U^2}{\frac{1}{2\cdot\pi\cdot f\cdot C_F}}$$

$$C_F = \frac{Q_c}{U^2\cdot 2\cdot\pi\cdot f} \quad \text{F}$$

تمرينات

٥٣ – ١ محرك تيار ثلاثي الأطوار، بالمعطيات التالية:

. 380 V; 1,9 kW; $\cos\varphi = 0{,}77$; $\eta = 0{,}8$

عند توصيل مجموعة من المكثفات، هبط التيار المسحوب إلى 3,7 A، مع ثبات القدرة الفعالة. احسب:

أ) التيار والقدرة المفاعلة المأخوذين بواسطة المحرك بدون مكثفات المعادلة. ب) القدرة المفاعلة ومعامل القدرة الفعالة الجديدة باستعمال مكثفات المعادلة ج) التيار المفاعل بالمكثفات وبدونها د) التغير في زاوية الإزاحة الطورية.

٥٣ – ٢ يولد مولد تيار أحادي الطور جهدا قدره 230 V علما بأن قدرته هي 80 kVA. ما هي القدرة الفعالة التي يمكن للمولد أن يعطيها للشبكة، إذا أريد تحسين معامل القدرة $\cos\varphi = 0{,}7$ بالمعادلة إلى: أ) 0,8 ب) 0,87 ج) 0,9.

٥٣ – ٣ قيست القيم التالية في وحدة تيار ثلاثي الأطوار: أ) قبل المعادلة فكانت: 21,5 A و 12 kW و 380 V ب) بعد المعادلة وكانت: 19 A و 12 kW و 380 V. بين كيفية تغير كل من: أ) معاملي القدرة الفعالة والمفاعلة؟ ب) القدرتين الظاهرية والمفاعلة؟

٥٣ – ٤ ينقل موصل تيارا قدره 25 A بجهد 220 V، عند معامل قدرة $\cos\varphi = 0{,}75$. احسب:

أ) التيار الفعال الذي يحمّل به الموصل؟ ب) كم أمبيرا إضافيا يمكن للموصل أن يسحبها إذا تمت معادلة $\cos\varphi$ إلى 1؟

٥٣ – ٥ يراد إيجاد معامل القدرة لوحدة تيار ثلاثي الأطوار تعمل على 220 V بالاستعانة بالقياس بعداد ($C_c = 1200$ r/kWh).

فإذا بينت أجهزة القياس القيم التالية: $I = 13$ A, $n_c = 80$ r.p.m. $U = 220$ V, احسب:

أ) $\cos\varphi$ ب) الزاوية $\varphi$.

٥٣ – ٦ مولد تيار ثلاثي الأطوار، له القيم الإسمية التالية:

. $U = 400$ V, $I = 150$ A

أ) ما مقدار قدرة المولد (kVA)؟ ب) ما القدرة الفعالة التي يمكن للمولد اعطاؤها للشبكة عند معامل القدرة غير المعادل $\cos\varphi_1 = 0{,}72$ وعند معامل القدرة المعادل $\cos\varphi_2 = 0{,}95$؟

٥٣ – ٧ المعادلة: (لشبكة 3~50 Hz/220 V)

| | القدرة المستفادة من المحرك $P_2$ | الكفاية $\eta$ | $\cos\varphi_1$ (غير معادل) | $\cos\varphi_2$ (معادل) |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 4,2 kW | 0,7 | 0,5 | 0,8 |
| ب) | 1,8 kW | 75% | 0,65 | 0,9 |
| ج) | 8 kW | 0,82 | 0,75 | 0,95 |
| د) | 11 kW | 78% | 0,72 | 0,85 |

يحتوي الجدول السابق على قيم تشغيل مأخوذة عن معطيات لوحة القدرة لمحركات غير متزامنة، يراد معادلتها تبعا للرسم التخطيطي المجاور.

أ) احسب قدرة المكثف kvar لكل حالة من الجدول.

ب) أوجد القدرة لكل حالة بالرسم.

الحل الرياضي للجزء (أ):

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{4{,}2\ \text{kW}}{0{,}7} = 6\ \text{kW}$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1};\quad S_1 = \frac{P_1}{\cos\varphi_1} = \frac{6\ \text{kVA}}{0{,}5} = 12\ \text{kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{12^2 - 6^2} = 10{,}4\ \text{kvar}$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{P_1}{S_2};\quad S_2 = \frac{P_1}{\cos\varphi_2} = \frac{6\ \text{kVA}}{0{,}8} = 7{,}5\ \text{kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_1^2} = \sqrt{7{,}5^2 - 6^2} = 4{,}5\ \text{kvar}$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = (10{,}4 - 4{,}5)\ \text{kvar} = 5{,}9\ \text{kvar}$$

تختار 3 مكثفات كل منها 2 kvar/220 V

الحل البياني للجزء (أ) (بالرسم):

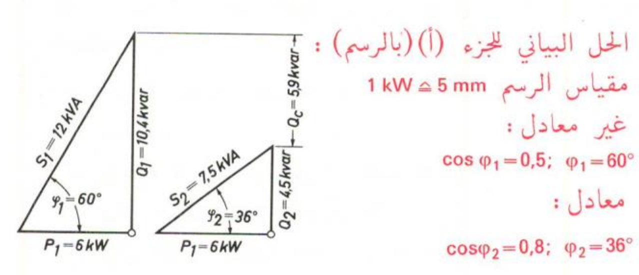
مقياس الرسم 1 kW ≙ 5 mm

غير معادل:

$\cos\varphi_1 = 0{,}5$; $\varphi_1 = 60°$

معادل:

$\cos\varphi_2 = 0{,}8$; $\varphi_2 = 36°$




٥٣ – ٨ حوّل قدرة المكثفات المفاعلة بالمسألة السابقة إلى السعة المناظرة بالوحدة (μF).

الحل للجزء (أ):

$$X_C = \frac{U^2}{Q_C} = \frac{(220\text{V})^2}{2000\ \text{var}} = 24{,}2\ \Omega$$

$$X_C = \frac{10^6}{\omega \cdot C};\quad C = \frac{10^6}{\omega \cdot X_C} = \frac{10^6}{314 \cdot 24{,}2}\mu\text{F} = 131\mu\text{F}$$

معطيات المكثف هي: 131 μF, ~50 Hz, 220 V

٥٣ – ٩ يمكن استخراج قدرة المكثفات لتحسين معامل القدرة من الجدول التالي:

| معامل القدرة بدون معادلة $\cos\varphi_1$ | قيمة معامل القدرة المحسن $\cos\varphi_2$: 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
|---|---|---|---|---|
| | قدرة المكثف (kvar) لكل (kW) من القدرة الفعالة | | | |
| 0,40 | 2,29 | 1,81 | 1,54 | 1,27 |
| 0,50 | 1,73 | 1,25 | 0,98 | 0,71 |
| 0,60 | 1,33 | 0,85 | 0,58 | 0,31 |
| 0,70 | 1,02 | 0,54 | 0,27 | – |
| 0,80 | 0,76 | 0,27 | – | – |
| 0,90 | 0,49 | – | – | – |

(يصلح الجدول لكل من التيارين أحادي الطور وثلاثي الأطوار).

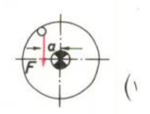
مؤسسة صغيرة تغذى من شبكة تيار ثلاثي الأطوار على 380 V وتأخذ قدرة فعالة قدرها 80 kW عند معامل قدرة $\cos\varphi_1 = 0{,}6$ يراد تحسينه بواسطة مجموعة من المكثفات إلى $\cos\varphi_2 = 0{,}9$.

أ) احسب القدرة المفاعلة السعوية المطلوبة.

ب) تحقق من النتيجة بالاستعانة بالجدول.

٥٣ – ١٠ فرن صهر يعمل بالحث على 3~50 Hz 380 V عند $\cos\varphi_1 = 0{,}5$ ويأخذ قدرة قدرها 55 kW. عيّن بالرسم القدرة المفاعلة المطلوبة للتحسين إلى $\cos\varphi_2 = 0{,}8$. تحقق من النتيجة بالاستعانة بالجدول.

## عزم دوران المحرك (M) = القوة (F) × نصف القطر (r)



١)



٢)



٣)


٤)

يُسمّى التأثير الدوراني الذى تسببه قوة ما F والتي لا تؤثر بنقطة المنتصف (مركز الدوران) لقرص ما بعزم الدوران. فإذا أثرت قوة على محيط القرص يطلق عليها اسم «قوة محيطية».

١ – عندما تكون المسافة a صغيرة يكون عزم الدوران صغيرا.

٢ – بزيادة ذراع القوة إلى الضعف (2·a) مع ثبات القوة F ينتج ضعف عزم الدوران M.

٣ – تؤثر القوة المحيطية عند مسافة قدرها r.

٤ – تؤثر جميع القوى على المحيط في اتجاه المماس وتنتج «عزم دوران».

يزداد عزم الدوران (M) كلما زادت القوة المحيطية والبعد العمودي (r) بين نقطة المنتصف للقرص واتجاه تأثير القوة (F): $M = F \cdot r$.

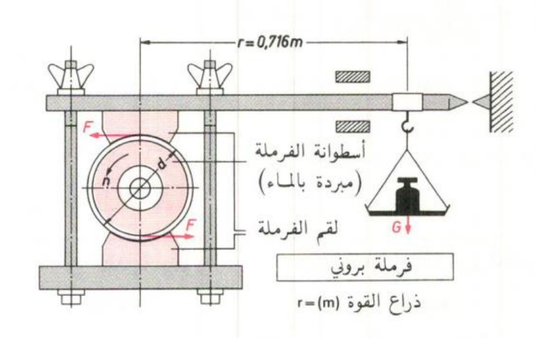
يعطي المحرك عزم دوران عند عمود الإدارة ويتناسب التغير في قوة الشد عكسيا مع كبر القرص.

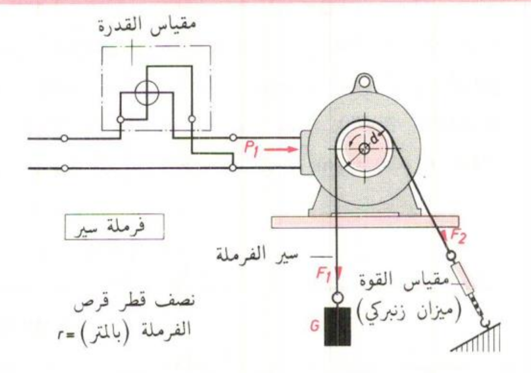
أ) قرص كبير يعطي سرعة محيطية كبيرة وتعطي بدورها قوة محيطية أصغر نسبيا.

ب) قرص أصغر يعطي سرعة محيطية أصغر وتعطي بدورها قوة محيطية أكبر نسبيا.

٥ – يحدِّد عزم الدوران وسرعة الدوران قيمة $P_2$.

## قياس عزم الدوران




تتعيَّن قدرة المحرك بواسطة ميزان القدرة على منصب الإختبار، ويقاس عزم الدوران بواسطة فرملة (مكبح)، وتقاس سرعة دوران المحرك بواسطة التاكومتر (مقياس السرعة).

وتستخدم كمكابح، فرملة بروني ومكابح التيار الدوامي ومولدات الكبح والمكابح المائية.

## القدرة المستفادة وعزم الدوران

يسمى الشغل W، المبذول في وحدة الزمن t، بالقدرة P أي أن:

$$P = \frac{W}{t}$$

ويسمّى حاصل ضرب القوة (F) × المسافة (s) بالشغل (W):

$$W = F \cdot s$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

ويعبر عن السرعة v في علم الفيزياء بالصيغة $v = \frac{s}{t}$، وبالتعويض بقيمتها ينتج: $P = F \cdot v$.

في حالة بكرة سيور نصف قطرها r وسرعة دوران العضو الدوار n دورة في الدقيقة تكون:

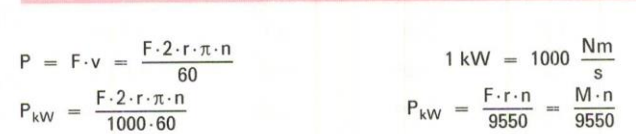
$$v = \frac{s}{t} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$P = F \cdot v = \frac{F \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$P_{kW} = \frac{F \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot n}{1000 \cdot 60}$$

$$1\ kW = 1000\ \frac{Nm}{s}$$

$$P_{kW} = \frac{F \cdot r \cdot n}{9550} = \frac{M \cdot n}{9550}$$



$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9550} \quad kW$$

$$M = \frac{P_{2(kW)} \cdot 9550}{n} \quad Nm$$

G = الوزن بالنيوتن (N) و F = قوة الشد بالنيوتن (N)
و r = نصف القطر بالمتر (m) و n = سرعة الدوران (r.p.m.).

تمرينات

٥٤ — ١ يولد محرك كهربائي ذو بكرة قطرها d = 360 mm ، قوة محيطية F = 120 N . احسب عزم الدوران .

٥٤ — ٢ احسب عزم دوران الترس 2 لتعشيقة التروس المبينة ، إذا كانت القوة المؤثرة على سن الترس F = 620 N (قوة محيطية) .

٥٤ — ٣ ما مقدار قطر بكرة محرك إذا أثرت عليها قوة شد قدرها 360 N عند عزم دوران قدره 18,5 Nm؟

٥٤ — ٤ ما مقدار عزم الدوران الإسمي لمحرك يعمل بالتيار المستمر ، قدرته 6 kW إذا دار بسرعة قدرها 1200 r.p.m.؟

٥٤ - ٥ احسب عزم الدوران للقيم الموضحة بالجدول التالي :

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2$ | 7,5 kW | 7 kW | 4 kW | 2,2 kW | 0,55 kW | $^1/_2$ kW |
| n (r.p.m.) | 2500 | 1420 | 2820 | 820 | 1350 | 2850 |

٥٤ — ٦ في تجربة الكبح لمحرك ثلاثي الأطوار ، عينت القيم التالية : أ) سرعة الدوران n = 1440 r.p.m. ب) طول ذراع الرافعة للمكبح الاحتكاكي : r = 716 mm ج) ثقل (وزن) المكبح = 50 N. احسب القدرة المستفادة من المحرك بالوحدات :
أ) kW ب) Nm/s .

٥٤ — ٧ محرك ثلاثي الأطوار ذوبكرة قطرها d = 280 mm يعطى قدرة قيمتها 9 kW عند سرعة دوران قدرها 1425 r.p.m. . احسب : أ) عزم الدوران ب) قوة شد السير على البكرة .

٥٤ — ٨ عند كبح محرك ما (r = 0,716 m) سجلت قيم القياس التالية :

| التجربة | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سرعة الدوران (r.p.m.) | 1600 | 1220 | 1020 | 820 | 720 | 650 |
| الثقل (N) | 6,25 | 24,8 | 51 | 92,5 | 165,5 | 260 |

عين قدرة المكبح بالوحدتين : (Nm/s), (kW).
ارسم شكلا بيانيا ممثلًا :
المحور الأفقي : 5 mm ≙ 1 kW
المحور الرأسي : 10 mm ≙ 200 r.p.m.

٥٤ — ٩ احسب عزم الدوران لمحرك يعمل بالتيار المستمر من المعطيات التالية :
n = 1200 r.p.m., η = 85%, I = 18 A, U = 220 V

٥٤ - ١٠ احسب عزم الدوران الذي يولده محرك متصل بمكثف يعمل على 220 V ويسحب تيارا قدره 8,5 A ، عند الحمل الكامل للوصول إلى سرعة دوران 2860 r.p.m. وعند معامل قدرة 0,9 وكفاية 0,75؟

٥٤ - ١١ مدون على محرك بمكثف بدء دوران ومكثف تشغيل المعطيات التالية : تيار بدء الدوران = ($3 \cdot I_N$) وعزم بدء الدوران = ($2,5 \cdot M_N$) وعزم الدوران الانهياري = ($1,7 \cdot M_N$) ويسحب عند التشغيل بالحمل الكامل تيارا قدره 8,6 A عند جهد 110 V ومعامل قدرة cos φ = 0,2 وكفاية η = 0,78 .
احسب :
أ) عزم الدوران الإسمي عند 1440 r.p.m. ب) أعلى تيار يتم سحبه عند بدء الدوران ج) عزم بدء الدوران وعزم الدوران الانهياري .

٥٤ - ١٢ محرك تيار ثلاثي الأطوار يعمل على 500 V ذو دوار مقصر الدائرة ، سرعة دوران عمود إدارته عند الحمل الإسمي 1825 r.p.m.. فإذا كانت الكفاية 80% ومعامل القدرة cos φ = 0,87 ، احسب : أ) عزم الدوران الإسمي $M_N$ ب) عزم الدوران البادئ للحركة ($M_p$) عند سرعة دوران n = 650 r.p.m. وقدرة P = 10 kW ج) عزم الدوران الانهياري ($M_B$) عند سرعة دوران 1550 r.p.m. وقدرة : P = 28 kW .

٥٤ — ١٣ محرك يعمل بالتيار المستمر على 220 V وكفايته 0,62. وعند n = 1300 r.p.m. يصل إلى عزم دوران M = 12 Nm . ما مقدار التيار المسحوب؟

٥٤ - ١٤ محرك تيار ثلاثي الأطوار يعمل على 380 V وله η = 0,87 cos φ = 0,85, ويبلغ عزم دورانه M = 250 Nm في تجربة الكبح عند تيار I = 50 A. احسب سرعة دوران المحرك n .

٥٤ - ١٥ عينت القيم التالية عند كبح محرك أحادي الطور :
M = 8,2 Nm; cos φ = 0,79; n = 1445 r.p.m.; 8,5 A; 220 V;
ما مقدار كفاية المحرك عند هذا التحميل؟

٥٤ - ١٦ احسب القيم الناقصة بالجدول :

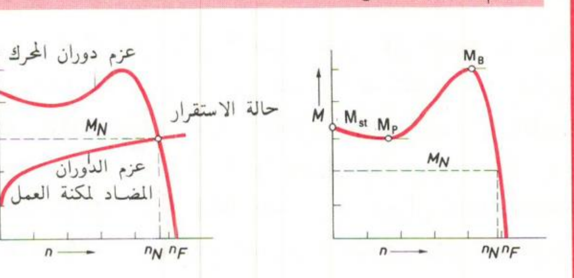
| نوع التيار | تيار ثلاثي الأطوار | | تيار متردد | | تيار مستمر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
| U (V) | 380 | 500 | 220 | 125 | 440 | 110 |
| I (A) | ? | 33,5 | 5 | 15 | 28 | 16,5 |
| n (r.p.m.) | 920 | ? | 720 | 920 | 950 | 2200 |
| η | 85% | 0,8 | 0,82 | 0,95 | ? | 78% |
| cos φ | 0,88 | 0,85 | 0,86 | 0,68 | — | — |
| M (Nm) | 150 | 135 | ? | ? | 115 | ? |

٥٤ — ١٧ أجريت تجربة كبح لتعيين القدرة الإسمية والكفاية لمحرك يعمل بالتيار المستمر بواسطة مكبح احتكاكي . وأثناء التجربة قيست القيم التالية :
U = 220 V, I = 43 A, n = 1450 r.p.m. ، ثقل (وزن) المكبح = 80 N (لطول ذراع رافعة قدره 716 mm) . احسب :
أ) القدرة الإسمية للمحرك بوحدة kW ب) الكفاية (η) ج) فقد المحرك بالواط (W) .

٥٤ — ١٨ كبح محرك ثلاثي الأطوار بمكبح ذي شريط حتى تم الوصول إلى سحب التيار الإسمي وقيست القيم التالية : قطر قرص الكبح = 280 mm وسرعة الدوران : n = 2800 r.p.m. وثقل (وزن) المكبح G = 120 N . احسب :
أ ) عزم الدوران الإسمي M .
ب) أقصى قدرة عند أكبر سرعة ، إذا بلغ عزم الدوران الانهياري عند 2500 r.p.m. ، 2,8 مرة مثل عزم الدوران الإسمي .

٥٤ - ١٩ احسب من المعطيات التالية ، قوة الشد على السير ، لمحرك تيار ثلاثي الأطوار : 4,8 A و 380 V وقطر البكرة = 200 mm cos φ = 0,82, η = 86%, n = 1450 r.p.m. .

## عزم دوران المحرك




يمكن استخراج قيم عزم الدوران $M_B$ و $M_p$ و $M_{st}$ من قوائم بيانات المحركات. ويحسب عزم الدوران الإسمي من القدرة الميكانيكية للمحرك كما يلي:

$$M_N = 9550 \cdot \frac{P_N}{n} \quad \text{Nm}$$

$P_N$ = القدرة الإسمية (kW)

n = سرعة الدوران الإسمية (r.p.m.)

أ) لكي تتم بداية الدوران في زمن محدد، يجب أن يكون عزم الدوران المعطى من المحرك بين السكون وسرعة الدوران الإسمية أكبر من عزم الدوران المضاد لمكنة التشغيل (انظر منحنى عزم الدوران).

ب) يلزم عزم الدوران الزائد لتعجيل كتل المحرك الدوّارة وجميع أجزاء الإدارة المقرنة بالمحرك ضد قصورها الذاتي.

ج) لا يجوز أن يتم التعجيل بشدة أو بطريقة نبضية (بصورة متقطعة) وذلك للمحافظة على أجهزة الإدارة (التروس والسيور والحبال... الخ).

د) عند بدء الإدارة بحمل ثقيل (أجهزة الطرد المركزي - نابذات - تجهيزات الدلفنة) يجب أخذ عزم الدوران البادئ للحركة في الاعتبار كي لا يظل المحرك معلقا عند بدء الدوران.

هـ) يعطى العزم المبين في الشكل من المحرك عند جهد الشبكة الكلي فقط وهو ينخفض تربيعيا مع إنخفاض الجهد.

و) عندما يصل المحرك إلى سرعة دوران التشغيل، يتوازن عزم دوران المحرك مع العزم المضاد لمكنة التشغيل (انظر نقطة تقاطع المنحنيين).

## تعيين قدرة الحمل الكامل للمحرك (أمثلة)

**قدرة المحرك P للحركة المستقيمة:**

$$P = \frac{F \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad \text{kW}$$

**P للحركة الدورانية:**

$$P = \frac{M \cdot n}{9\,550} \quad \text{kW}$$

F = القوة بالنيوتن (N)

v = السرعة (m/s)

η = الكفاية الميكانيكية

M = عزم الدوران (Nm)

n = سرعة الدوران (r.p.m)

**P في حالة المصاعد:**

غالبا ما تعادل في المصاعد حمولة جسم المصعد ونصف حمولة الاستخدام بأثقال موازنة.

$$P = \frac{F \cdot v}{2 \cdot 1000 \cdot \eta} \quad \text{kW}$$

F = القوة (N)، v = السرعة (m/s)

**P في حالة المضخات:**

لتعيين قدرة المحرك في المضخات، يُعوَّض بدلا من (F·v) بحاصل ضرب معدل التدفق في الضاغط المانومتري:

$$P = \frac{Q \cdot \varrho \cdot g \cdot h}{\eta} \quad \text{kW}$$

Q = معدل التدفق (التصريف) $(m^3/s)$

ϱ = كثافة السائل $(kg/dm^3)$

g = تسارع الجاذبية = $9{,}81\ m/s^2$

h = ارتفاع الضغط + قيمة المقاومة، (m) من عمود السائل.

**P في حالة أجهزة التهوية:**

بدلا من حاصل الضرب (F·v) يعوض في أجهزة التهوية بحاصل ضرب معدل التدفق وضغط الهواء:

$$p = \frac{Q \cdot p}{1000 \cdot \eta} \quad \text{kW}$$

Q = معدل التدفُّق $(m^3/s)$، p = ضغط الريح بالباسكال عند فتحة خروج الهواء، $1\ Pa = 1\ N/m^2$.

## بدء الدوران في مكنات التشغيل

| نوع البدء | العزم المضاد | مثال |
|---|---|---|
| دون حمل | عمليا لا يوجد عزم مضاد لأن التحميل يبدأ بعد بدء الدوران. | مكنات الخراطة والمكابس والمقصات والضواغط ذات الكباس المتردد عند بدء الدوران بدون حمل. |
| بدء الدوران بحمل مع عزم دوران متزايد | يرتفع العزم المضاد مع ارتفاع سرعة الدوران. | أجهزة التهوية والمضخات الرحوية والضواغط الدورانية. |
| بدء الدوران بحمل كامل | العزم المضاد = عزم دوران الحمل الكامل. | أجهزة الرفع والسيور الناقلة والمضخات. |
| بدء الدوران بحمل زائد | العزم المضاد أكبر بكثير من عزم دوران الحمل الكامل. | مصانع الدلفنة والطواحين بالكرات والنابذات (الأجهزة العاملة بالقوة الطاردة المركزية). |

٥٥ – ١ محرك ثلاثي الأطوار يصل عند سرعة الدوران الإسمية وقدرها 1425 r.p.m.، إلى قدرة إسمية قدرها 6 kW. أ) ما مقدار عزم الدوران الإسمي للمحرك؟ ب) ما هي قوة الشد (F) التي تنشأ على محيط بكرة قطرها 240 mm؟

٥٥ – ٢ يراد تحريك حمل قدره 500 kg بواسطة عيّار (ونش) كفايته 65%، بسرعة قدرها 4,3 m/s. ما هي القدرة اللازمة لإدارة المحرك الكهربائي بوحدة kW؟

٥٥ – ٣ محرك يعمل بالتيار المستمر قدرته 12,5 kW ويدير بكرة قطرها 220 mm بسرعة n=1200 r.p.m.. ما هي قوة الشد الناشئة على البكرة عند التشغيل الإسمي؟

٥٥ — ٤ احسب قوة شد الحبل لعيّار يبلغ قطر بكرة الحبل به 600 mm، إذا أديرت البكرة بسرعة n=15 r.p.m.، بقدرة 30 kW. ما هي شدة التيار الذي يسحبه محرك يعمل بالتيار المستمر 220 V من الشبكة إذا كانت كفايته 80% وكانت كفاية العيار 75%؟

٥٥ – ٥ محرك قدرته 2,2 kW متصل بمكثف يدور بسرعة n=2 880 r.p.m. ويدير منشارا دائريًا قطره 360 mm. احسب عزم الدوران عند محيط المنشار وقوة القطع.

٥٥ – ٦ محرك تيار ثلاثي الأطوار يعمل بجهد 380 V، يجب أن يعطي عند 1410 r.p.m. عزم دوران قدره 78 Nm عند عمود إدارة مجموعة التروس. فما مقدار القدرة (kW) التي يجب أن يعطيها المحرك؟ وما مقدار التيار في خط تغذية المحرك إذا فرض أن الكفاية 0,75 وأن معامل القدرة 0,82؟

٥٥ – ٧ يلزم لمضخة بكباس، طبقا لبيانات الشركة المنتجة عزم دوران قدره 45 Nm عند n=900 r.p.m.. احسب: أ) قدرة المحرك الإسمية (kW) لإدارة المضخة ب) القدرة المستهلكة بالمحرك عند كفاية 0,75.

٥٥ – ٨ يسحب محرك ثلاثي الأطوار: $\cos\varphi=0{,}85$; U=380 V; $\eta=0{,}88$; n=1410 r.p.m.; عند التشغيل الإسمي، تيارا قدره 24 A من الشبكة. احسب عزم الدوران على عمود إدارة المحرك.

٥٥ — ٩ يلزم رفع حمولة من قطع الحديد قدرها 3 t في 10 s بواسطة مرفاع مغنطيسي إلى ارتفاع 8 m دون استخدام أثقال موازنة. فإذا كانت الكفاية الميكانيكية لمجموعة المرفاع 48%. احسب القدرة الإسمية لمحرك الإدارة بالوحدات (kW) و (Nm/s).

٥٥ — ١٠ يلزم لمضخة طرد مركزي عزم دوران قدره 60 Nm. ما هي سرعة الدوران الواجبة لمحرك ثلاثي الأطوار، قدرته 9 kW، والذي يحمّل تحميلا كاملا بإدارته للمضخة؟

٥٥ – ١١ يراد رفع 5 000 kg في 1/2 min إلى ارتفاع 30 m بواسطة مصعد بناء كفايته 48% وتمت معادلة نصف حمولة التشغيل وكل من وزن الجسم والحبال بواسطة أثقال موازنة. احسب: أ) القدرة الإسمية للمحرك بوحدة kW ب) التيار الإسمي للمحرك إذا تم التوصيل بمحرك تيار ثلاثي الأطوار ذي: $\eta=0{,}82$; $\cos\varphi=0{,}85$; 380 V.

٥٥ – ١٢ يقوم مرفاع سقف برفع حمولة قدرها 1200 kg في 7 s إلى ارتفاع 14 m. فإذا كانت كفاية آلة الرفع = 52% احسب: أ) قدرة المحرك بوحدة kW ب) عزم الدوران الإسمي إذا كان محرك التيار المستمر المختار يدور بسرعة 2 700 r.p.m. ج) التيار الإسمي للمحرك، إذا كانت كفايته 76% وجهد التوصيل 220 V.

٥٥ — ١٣ يلزم نقل 250 kg من المادة الغفل بواسطة سير ناقل على طول قدره 12 m في المتوسط بسرعة v=2,2 m/s إلى ارتفاع 5,5 m والكفاية الميكانيكية لمجموعة السير 52%.

أ) كم (kg) من المادة الغفل تنقل في ساعة واحدة؟

ب) كم kW يجب أن يعطيها المحرك لعمود الإدارة؟

٥٥ — ١٤ تقوم مضخة بكباس، ذات كفاية 75% بضخ 15 $m^3$ من الماء في الساعة إلى ارتفاع ضخ 18 m فإذا كانت كفاية مجموعة التروس الموجودة بين المحرك والمضخة 0,62، وكفاية المحرك 85%. احسب: أ) القدرة المستفادة من المحرك (kW) ب) القدرة المعطاة للمحرك بوحدة kW ج) التيار الإسمي للمحرك إذا وصّل محرك التيار المستمر القائم بالإدارة على شبكة جهدها 220 V.

٥٥ — ١٥ محرك ثلاثي الأطوار معطياته هي: 380 V، 1415 r.p.m.، 7,7 kW.

أ) ما مقدار عزم الدوران الإسمي؟

ب) ما هي الحمولة التي يمكن رفعها بواسطة المحرك في مجموعة مصعد كفايتها 0,68 لمسافة 15 m في 10 s؟

٥٥ — ١٦ كم $m^3$ من المياه يمكن لمحرك ثلاثي الأطوار قدرته 22 kW أن يرفعها في ساعة واحدة من عمق 25 m بمجموعة ضخ كفايتها 66%؟

٥٥ — ١٧ مروحة تهوية تبلغ كفايتها 65% تقوم بضغط 100 $m^3$ من الهواء في كل دقيقة بضغط هواء يبلغ 25 Pa من خلال فتحة طرد قطرها 800 mm.

أ) احسب القدرة المستفادة من محرك تيار ثلاثي الأطوار يعمل على 380 V.

ب) كم kW يأخذها المحرك من الشبكة، عند كفاية محرك قدرها 0,85، وعند معامل قدرة $\cos\varphi=0{,}82$؟

ج) بكم أمبير يحمل خط تغذية المحرك، وكم يجب أن تكون مساحة مقطع الموصل، طبقا للمجموعة 2 للنحاس؟

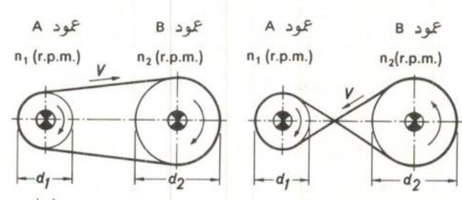
د) ما هي تكلفة الطاقة في اليوم (24 ساعة) بتعريفة 0,13 SR/kWh؟

٥٥ — ١٨ تقوم مضخة زيت ذات كفاية ضخ 0,7 بسحب 10 000 l من الزيت كثافته $\varrho=0{,}9$ kg/dm³ في الساعة من عمق 4 m ثم رفعه إلى ارتفاع 28 m. عيّن القدرة المأخوذة من المحرك بالوحدات (kW) و (Nm/s).

٥٥ – ١٩ يبلغ تدفق المياه في منشأة لرفع المياه 0,8 $m^3$ في الدقيقة. كم kW تلزم لتشغيل مجموعة التصريف، إذا استخدمت مضخة تعمل بالطرد المركزي كفايتها 73% لضخ المياه من عمق 420 m إلى الخارج؟ إحسب مساحة مقطع الموصل التي يجب اختيارها لخط التغذية لمحرك تيار مستمر يعمل على 220 V وكفايته 0,82، طبقا للمجموعة 1 للنحاس.

## الإدارة بالسيور المسطحة - الإدارة بالسيور حرف V

تقوم السيور بنقل القوة والحركة من عمود إدارة إلى عمود إدارة آخر أو عدة أعمدة إدارة أخرى بواسطة الاحتكاك . وتمكّن السيور المصنوعة من مادتين (بيرلون + طبقة من الجلد الكرومي) من تقصير المسافة بين المحاور $(0{,}65 \cdot d_2)$ وبلوغ سرعات تصل إلى 50 m/s للسير الناقل .




تعشيقة سير مفتوح وفيها تدور البكرات في اتجاه واحد .
تعشيقة سير مقص وفيها تدور البكرات في اتجاهين متضادين .

الصيغة الرياضية للإدارة بالسيور : بدون انزلاق السير تكون السرعة المحيطية للبكرة القائدة $v_1$ مساوية للسرعة المحيطية للبكرة المقودة $v_2$ :

البكرة 1 : $v_1 = d_1 \cdot \pi \cdot n_1$ ، البكرة 2 : $v_2 = d_2 \cdot \pi \cdot n_2$

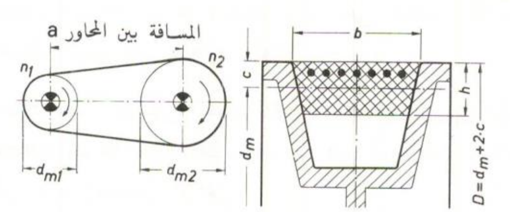
$$v_1 = v_2$$

بقسمة طرفي المعادلة على π نحصل على :

$$d_1 \cdot n_1 = d_2 \cdot n_2$$

$d_1$ = قطر البكرة القائدة (mm)
$n_1$ = سرعة دوران البكرة القائدة (r.p.m.)
$d_2$ = قطر البكرة المقودة (mm)
$n_2$ = سرعة دوران البكرة المقودة (r.p.m.)
$v$ = سرعة السير (m/s)

في حالة السير حرف V تكون قدرة التصاق السير نتيجة لتأثير الاحتكاك والتأثير الإسفيني ثلاثة أمثالها في حالة السير المسطح تقريبا . ويتم نقل القدرات العالية بواسطة عدة سيور حرف V على بكرات متعددة التجاويف على شكل حرف V .



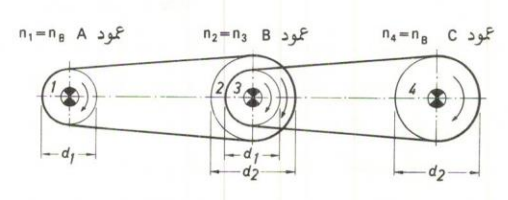

وللسيور حرف V مقاطع موحدة قياسيا (أنظر الجدولين A و B صفحة ١٣٧) . وبتغير المقطع تتغير المسافة c ، ويتغير القطر المتوسط $d_m$ المسموح به لبكرة السير أيضا . ويصلح أصغر قطر ليتخذ كقيمة إسنادية ويجب الإلتزام بهذا القطر إذا لم توجد أسباب قهرية تتطلب اختيار قطر آخر .

$$v = \frac{d_m \cdot \pi \cdot n}{1000 \cdot 60}$$

$$d_{m1} \cdot n_1 = d_{m2} \cdot n_2$$

$d_{m1}$ = القطر المتوسط للبكرة القائدة (mm)
$n_1$ = سرعة دوران البكرة القائدة (r.p.m.)
$d_{m2}$ = القطر المتوسط البكرة المقودة (mm)
$n_2$ = سرعة دوران البكرة المقودة (r.p.m.)
$a$ = المسافة بين المحاور : $a \approx d_{m2} + 3c$
(تستخرج c من الجدول A)
$v$ = سرعة السير (m/s) ، يوصى بأن تكون السرعة :
$v = 15 \ldots 20$ m/s

## نسبة نقل السرعة i - الانزلاق - زاوية التماس



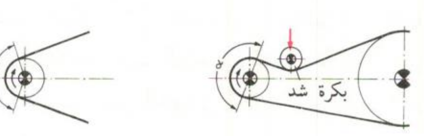

نسبة نقل الحركة i طبقا للمواصفات DIN 868 :

| سيور مسطحة | | سيور حرف V | |
|---|---|---|---|
| $i = \frac{d_2}{d_1}$ | $i = \frac{n_1}{n_2}$ | $i = \frac{d_{m2}}{d_{m1}}$ | $i = \frac{n_1}{n_2}$ |

إذا زادت نسبة نقل الحركة i في حالة السيور المسطحة عن (1 : 5) ، وفي حالة السيور حرف V عن (1 : 15) ، فإنه يتم النقل على مرحلتين ، وتكون نسب نقل الحركة كما يلي :

$$i = i_1 \cdot i_2$$

$$i = i_1 \cdot i_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_3}{n_4} = \frac{n_1}{n_4} = \frac{n_B}{n_E}$$




يتراوح الإنزلاق في السيور العادية من 1,5% إلى 2% . وإذا أريد الحفاظ على نسبة سرعة ثابتة فإنه يجب اختيار البكرة القائدة بقطر أكبر بمقدار 1,5% إلى 2% ، أو البكرة المقودة بقطر أصغر بنفس النسبة المئوية . ويجب الحفاظ على المسافات بين المحاور وأصغر مسافة هي :

$$a = 3\,(d_1 + d_2)$$

لا يسمح بأن تكون زاوية التماس عند البكرة الصغرى أصغر من 150° ، وذلك للحفاظ على قيمة الانزلاق وإلا وجب استخدام بكرات شد للسير .

$$\alpha = 180^\circ - \frac{60^\circ\,(d_2 - d_1)}{a}$$

تمرينات

٥٦ – ١ محرك كهربائي سرعة دورانه 1420 r.p.m. مركّبة عليه بكرة سير قطرها 125 mm يدير منشارا دائرياً بسرعة 560 r.p.m. احسب : أ) قطر بكرة السير لعمود إدارة المنشار ب) السرعة المحيطية (m/s) للمنشار الذي يبلغ قطره D = 630 mm ج) نسبة نقل الحركة (السرعة) .

٥٦ – ٢ محرك ثلاثي الأطوار، ذو سرعة دوران إسمية $n_1 = 960$ r.p.m. يدير ضاغط (كباس) عن طريق سيور بسرعة قدرها $n_2 = 500$ r.p.m. احسب : أ) القطر $d_2$ لبكرة سير الضاغط إذا بلغ القطر $d_1$ لبكرة سير المحرك 450 mm ب) سرعة السير v (m/s) ج) نسبة نقل الحركة (السرعة) i د) بكم mm يجب أن يقل قطر البكرة المقودة مع اعتبار انزلاق السير $s \leqq 2\%$.

٥٦ – ٣ احسب القيم الناقصة في الجدول :

| | البكرة القائدة | | البكرة المقودة | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $d_1$ (mm) | $n_1$ (r.p.m.) | $d_2$ (mm) | $n_2$ (r.p.m.) | i |
| أ ) | ? | 710 | 400 | 355 | ? |
| ب) | 90 | ? | 450 | 250 | ? |
| ج) | 80 | 1600 | ? | 400 | ? |
| د ) | 140 | 1250 | 250 | ? | ? |
| هـ ) | 90 | 1400 | 360 | ? | ? |
| و ) | ? | 1250 | 400 | 500 | ? |
| ز ) | 80 | ? | 320 | 200 | ? |
| ح ) | 180 | 1400 | ? | 400 | ? |

٥٦ – ٤ احسب القيم الناقصة وأصغر مسافة مناظرة بين المحورين في الجدول التالي :

| | البكرة القائدة | | البكرة المقودة | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $d_1$ (mm) | $n_1$ (r.p.m.) | $d_2$ (mm) | $n_2$ (r.p.m) | i | a |
| أ ) | 360 | 200 | 420 | ? | ? | ? |
| ب) | 600 | 120 | ? | 150 | ? | ? |
| ج) | ? | 250 | 375 | 400 | ? | ? |
| د ) | 400 | ? | 240 | 1500 | ? | ? |
| هـ ) | 600 | ? | 400 | 900 | ? | ? |

٥٦ – ٥ احسب زاوية التماس لأصغر بكرة من نتائج المسألة السابقة. وفي أي المسائل يكون استخدام بكرات الشد ضروريا؟

٥٦ – ٦ احسب من معطيات الجدول الآتي ما يلي :
أ) سرعات الدوران $n_1$ (r.p.m.) لجانب الإدارة ب) قطر بكرة السير لجانب الحمل ج) بكم mm يجب أن يزيد اختيار $d_1$ لمعادلة الإنزلاق : $s \leqq 2\%$

| | قطر البكرة القائدة $d_1$ (mm) | سرعة دوران الحمل $n_2$ (r.p.m.) | نسبة نقل السرعة i |
|---|---|---|---|
| أ ) | 710 | 250 | 1 : 3,15 |
| ب) | 1120 | 630 | 1 : 4,5 |
| ج) | 90 | 125 | 2,8 : 1 |
| د ) | 160 | 90 | 3,55 : 1 |

٥٦ – ٧ تنقل الحركة من محرك كهربائي بالسيور على مرحلتين : $n_1 = 2820$ r.p.m. و $d_1 = 140$ mm و $d_2 = 800$ mm و $d_3 = 160$ mm و $d_4 = 630$ mm .

احسب :
أ) نسبة نقل الحركة $i_1$ ب) نسبة نقل الحركة $i_2$ ج) نسبة نقل الحركة الكلية i د) $n_E$ (السرعة النهائية) .

٥٦ – ٨ إذا نقلت الحركة بالسيور على مرحلتين وكان :
$n_1 = 940$ r.p.m., $d_1 = 225$ mm, $n_2 = 280$ r.p.m., $n_4 = 112$ r.p.m., $d_4 = 500$ mm .

احسب مايلي من الجدول التالي :
أ) $i_1$ ب) $d_2$ (mm) ج) $d_3$ (mm) د) $i_2$ هـ) i

المجموعة **A** : السيور المقفلة حرف V والقطر الخارجي للبكرة D والقطر الأصغر $d_m$ (DIN 2215)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عرض السير b (mm) | 5 | 6 | 8 | 10 | 13 | 17 | 20 |
| ارتفاع السير h (mm) | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 11 | 12,5 |
| المسافة c (mm) | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| أصغر قطر للبكرة $d_m$ (mm) | 22 | 32 | 45 | 63 | 90 | 125 | 180 |
| $= D = d_m + 2c$   $d_m$ | 3+ | 4+ | 5+ | 6+ | 8+ | 10+ | 12+ |

٥٦ – ٩ احسب، من معطيات الجدول A السابق القطر D لبكرة السير حرف V :

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| القطر المتوسط للبكرة $d_m$ (mm) | | 315 | 560 | 50 | 112 | 71 |
| عرض السير b | 5 | 20 | 17 | 8 | 13 | 10 |

المجموعة **B** : القطر المتوسط أو الإسمي لبكرات السيور حرف V (DIN 2217)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| القيم الإسمية | 20 | 22 | 25 | 28 | 32 | 36 | 40 |
| للقطر | 45 | 50 | 56 | 63 | 71 | 80 | 90 |
| المتوسط | 100 | 112 | 125 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| $d_m$ (mm)* | 224 | 250 | 280 | 315 | 355 | 400 | 450 |
| | 500 | 560 | 630 | 710 | 800 | 900 | 1000 |

تتدرج الأقطار فيما بين 1000 حتى 5600 بتدرج يناظر عشرة أمثال الأقطار الموضحة بالجدول B.

* يعتبر القطر المتوسط $d_m$ عاملا أساسيا في حساب نسبة

٥٦ – ١٠ احسب القطر الأصغر $d_m$ (mm) بالاستعانة بالجدول A ودقق النتيجة بواسطة الجدول B.

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| القطر الأكبر للبكرة D (mm) | 230 | 642 | 150 | 120 | 60 | 130 |
| عرض السير b (mm) | 10 | 20 | 17 | 13 | 6 | 8 |

٥٦ – ١١ يدار سير حرف V عرضه b = 6 mm بواسطة بكرة قطرها D = 75 mm بسرعة دوران n = 1400 r.p.m. احسب سرعة السير v (m/s).

٥٦ – ١٢ سير حرف V عرضه 20 mm يدار بواسطة بكرة قطرها D = 236 mm ، بسرعة v = 11,8 m/s. احسب سرعة دوران البكرة (r.p.m.).

٥٦ – ١٣ البكرة 1 : $D_1 = 50$ mm والبكرة 2 : $D_2 = 185$ mm والمقطع الجانبي للسير = 8 . احسب نسبة نقل الحركة .

٥٦ – ١٤ سير إدارة حرف V ذو المقطع الجانبي 10 وبياناته $d_{m1} = 80$ mm; $n_1 = 1500$ r.p.m.; $n_2 = 300$ r.p.m.;
احسب : أ) v (m/s) ب) $d_{m2}$ (mm) ج) i

## الإدارة بالتروس

إذا كانت أعمدة الإدارة متقاربة من بعضها البعض ، تنقل القوة والحركة عندئذ بواسطة التروس ويفرق هنا بين الإدارة بالتروس باستعمال ترس وسيط أو بدونه .

الإدارة بالتروس بدون ترس وسيط :

**العمود القائد A ومثبت عليه الترس 1.**

$d_{o1}$= قطر دائرة الخطوة

$z_1$ = عدد الأسنان

$n_1$ = سرعة الدوران (r.p.m.)

**العمود المقود B ومثبت عليه الترس 2**

$d_{o2}$= قطر دائرة الخطوة

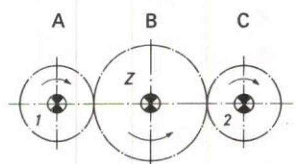
$z_2$ = عدد الأسنان

$n_2$ = سرعة الدوران (r.p.m.)

لاحظ انعكاس اتجاه الدوران .

دائرة الخطوة

### الإدارة بالتروس باستعمال ترس وسيط




| العمود C | العمود B | العمود A |
|---|---|---|
| الترس 2 المقود | الترس الوسيط | الترس 1 القائد |
| $(z_2, n_2)$ | $(z, n)$ | $(z_1, n_1)$ |

ملاحظة :

١ - يستعمل ترس وسيط إذا كانت المسافة بين المحورين كبيرة .

٢ - لا تتغير نسبة نقل الحركة بين الترسين القائد والمقود عند استعمال الترس الوسيط .

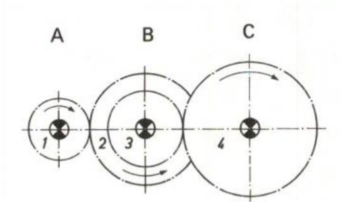
٣ - عندما يستخدم ترس واحد أو ثلاثة أو خمسة تروس وسيطة يكون اتجاه دوران الترس الثاني مماثلا لاتجاه دوران الترس الأول .

الصيغة الرياضية للإدارة بالتروس : | نسبة نقل الحركة :

$$z_1 \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2 \qquad i = \frac{n_1}{n_2} \qquad i = \frac{z_2}{z_1}$$

تبلغ أكبر نسبة نقل ممكنة في التروس 12 إلى 1 (12:1) أما إذا كانت النسبة أكبر ، فيتم نقل الحركة على مرحلتين .

### الإدارة بالتروس على مرحلتين :




العمود A: الترس 1 قائد : $n_1 = n_B$ و $z_1$

العمود B: الترس 2 مقود : $n_2$ و $z_2$

العمود B: الترس 3 قائد : $n_3 = n_2$ و $z_3$

العمود C: الترس 4 مقود : $n_4 = n_E$ و $z_4$

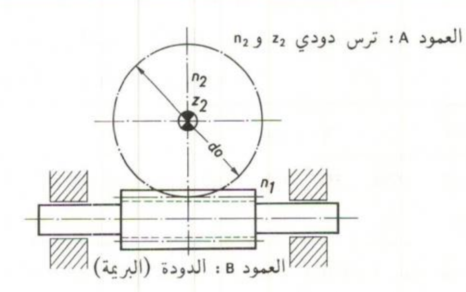
نسبة نقل الحركة الكلية i = نسبة نقل الحركة $i_1$ × نسبة نقل الحركة $i_2$

$$i = \frac{n_1 \cdot n_3}{n_2 \cdot n_4};\ n_2 = n_3$$

$$i = \frac{n_1}{n_4} = \frac{n_B}{n_E};\ n_B = i \cdot n_E;\ n_E = \frac{n_B}{i}$$

النسبة الكلية لنقل الحركة $i = \dfrac{n_B \text{ سرعة الدوران الابتدائية}}{n_E \text{ سرعة الدوران النهائية}}$

## الإدارة بالدودة (البريمة) والترس الدودي




$n_1$ = سرعة دوران الدودة

$z_w$ = عدد أبواب الدودة

$d_o$ = قطر دائرة الخطوة

$n_2$ = سرعة دوران الترس الدودي

$z_2$ = عدد أسنان الترس الدودي

تخفض الدودة والترس الدودي سرعات الدوران العالية بنسبة كبيرة . ويمكن استخدام الإدارة بالدودة والترس الدودي في أعمدة إدارة متقاطعة ونسب نقل عالية ($i \approx 50:1$) وتحويل سرعة دوران عالية إلى أخرى منخفضة جدا .

يفرق هنا بين الدودة المفردة والمتعددة الأبواب . ويمكن مقارنة ذلك باللوالب المفردة والمتعددة الأبواب . كما يمكن (حسابيا) اعتبار الدودة ذات الباب الواحد كترس ذو سنّة واحدة لأن الإدارة تصدر دائما من الدودة . وعليه يكون في الدودة ذات الباب الواحد : $z_1 = 1$ .

وغالبا ما يكون للإدارة بالدودة والترس الدودي ، المستخدمة في آليات الرفع ، خاصية ذاتية القفل (مصاعد البناء وبكرات الرفع . . . الخ) إذ تمنع الدودة المركبة على عمود الإدارة للمحرك سقوط الحمل عند فصل دائرة المحرك دون استخدام أي تجهيزات كبح إضافية .

**الصيغة الرياضية للإدارة بالدودة والترس الدودي :** بالتعويض في الصيغة الرياضية للإدارة بالتروس عن $z_1$ بعدد الأبواب في الدودة (البريمة) ، فإننا نحصل على الصيغة الرياضية للنقل بالدودة والترس الدودي :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_w} \qquad z_w \cdot n_1 = z_2 \cdot n_2$$

**٥٧ – ١ مراجعة لنسبة نقل الحركة :**

مثال (١) : $i = 2 : 1$

$n_1 = 500$ $n_2 = 250$

$d_{o1} = 100$ $d_{o2} = 200$

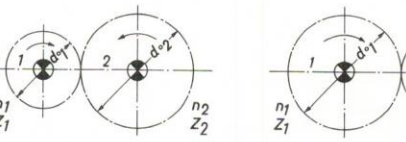
$z_1 = 40$ $z_2 = 80$

مثال (٢) : $i = 1 : 2$

$n_1 = 250$ $n_2 = 500$

$d_{o1} = 200$ $d_{o2} = 100$

$z_1 = 80$ $z_2 = 40$




التحويل من سرعة عالية إلى سرعة منخفضة :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{o2}}{d_{o1}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{500}{250} = \frac{2}{1}$$

التحويل من سرعة منخفضة إلى سرعة عالية :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_{o2}}{d_{o1}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{250}{500} = \frac{1}{2}$$

٥٧ – ٢ احسب عدد الأسنان $z_1$ للإدارة بالتروس، إذا كانت $i = 2{,}5 : 1$ و (سن) $z_2 = 80$ .

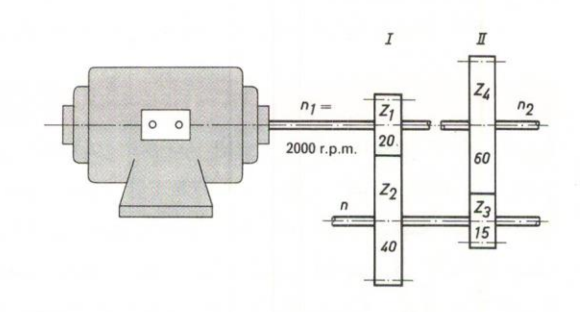
٥٧ – ٣ احسب عدد الأسنان $z_2$ للإدارة بالتروس، إذا كانت $i = 1 : 3{,}5$ و (سن) $z_1 = 105$ .

٥٧ – ٤ عين $z_1$ و $n_2$، عند $i = 5{,}5 : 1$ للإدارة بالتروس، إذا كانت $n_1 = 720$ r.p.m. و (سن) $z_2 = 132$ .

٥٧ – ٥ ما مقدار $z_2$ و $n_2$ للإدارة بالتروس إذا كانت $n_1 = 250$ r.p.m. و (سن) $z_1 = 128$ و $i = 1 : 3{,}2$ .

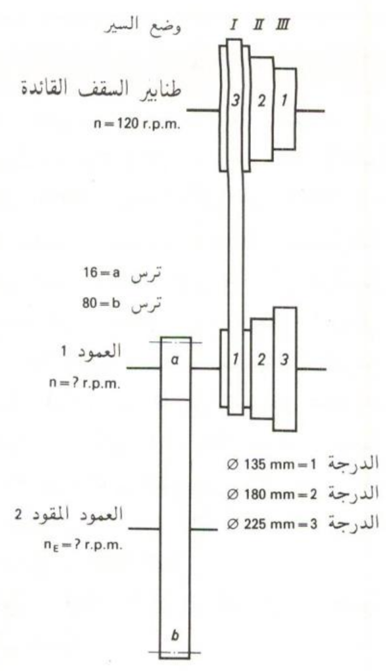
٥٧ – ٦ في مجموعة إدارة بالتروس إذا كانت : $z_1 = 25$ و $z_2 = 95$ كانت سرعة دوران الترس القائد : 150 r.p.m. .
احسب سرعة دوران الترس المقود ونسبة نقل الحركة .

٥٧ – ٧ احسب بواسطة الصيغة الرياضية للإدارة البسيطة بالتروس، سرعة الدوران $n_2$ ونسبة نقل الحركة الكلية للإدارة بالتروس المبينة :




٥٧ – ٨ احسب القيم الناقصة في الجدول التالي :

| | أ | ب | ج | د | ه |
|---|---|---|---|---|---|
| $z_1$ للترس القائد | ? | 25 | 45 | ? | 15 |
| $n_1$ للترس القائد | ? | ? | 120 | 150 | ? |
| $z_2$ للترس المقود | 60 | ? | ? | 90 | ? |
| $n_2$ للترس المقود | 200 | 500 | ? | ? | 250 |
| i نسبة نقل الحركة | 3 : 4 | 4 : 5 | 2 : 3 | 6 : 1 | 12 : 5 |




٥٧ – ٩ عين سرعة الدوران $n_E$ (r.p.m.) للعمود القائد 2 لأوضاع السيور I حتى III .

٥٧ – ١٠ ما مقدار نسبة نقل الحركة i وسرعة الدوران النهائية $n_E$ لنقل الحركة على مرحلتين بالتروس إذا كانت :

$n_1 = 450$ r.p.m.; $z_1 = 36$; $z_2 = 90$; $z_3 = 25$; $z_4 = 80$

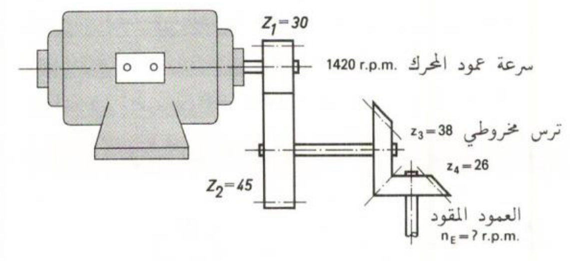
٥٧ – ١١ عين $n_E$ ونسبة نقل الحركة i عند :

$n_B = 56$ r.p.m.; $z_1 = 108$; $z_2 = 30$; $z_3 = 124$; $z_4 = 31$

٥٧ – ١٢ في نقل الحركة على مرحلتين بالتروس أعطيت القيم التالية : $n_1 = 80$ r.p.m. و $z_1 = 120$ و $i_1 = 1 : 2{,}5$ و $z_3 = 96$ و $i = 1 : 6$;
احسب قيم كل من : $n_4 = n_E$ و $z_4$ و $i_2$ و $z_2$ و $n_2$ .

٥٧ – ١٣ في تغيير السرعة على مرحلتين بالتروس إذا كانت : $n_1 = 630$ r.p.m. و $z_2 = 90$ و $z_4 = 135$ و $n_E = 70$ r.p.m. و $i_2 = 2{,}5 : 1$
احسب القيم : $i;\ z_3;\ n_3;\ n_2;\ z_1$

٥٧ – ١٤ احسب سرعة الدوران $n_4$ لعمود الإدارة ونسبة نقل الحركة i .




٥٧ – ١٥ دودة ذات باب واحد سرعتها $n_1 = 900$ r.p.m. تدير ترسا دوديا عدد أسنانه $z = 50$ احسب $n_2$ .

٥٧ – ١٦ تدير دودة ذات بابين ترسا عدد أسنانه $z = 60$ . احسب نسبة نقل الحركة i .

٥٧ – ١٧ عين سرعة دوران الترس الدودي $n_2$ ونسبة نقل الحركة i من معطيات الجدول التالي :

| | أ | ب | ج | د | ه |
|---|---|---|---|---|---|
| عدد أبواب الدودة في الوحدة $z_w$ | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| سرعة دوران الدودة $n_1$ | 500 | 750 | 1440 | 1440 | 1440 |
| عدد أسنان الترس الدودي $z_2$ | 50 | 30 | 144 | 80 | 40 |

## حساب المقطع المستعرض للموصلات الكهربائية

تحدد تعليمات VDE 0100/573 الشروط الواجب اتباعها في تركيبات القدرة لأقل من ~1000 V (القيمة الفعالة) وترددها الأعلى 500 Hz وأيضا لأقل من 1500 V (جهد مستمر) .

ولذا يجب حساب المقاطع المستعرضة لخطوط التوصيل الكهربائية ، بحيث يكون لها أمان ميكانيكي كاف ، وألا تسخن لدرجة غير مسموح بها . ويعتبر الموصل ذو أمان ميكانيكي كاف إذا كانت مساحة مقطعه المستعرض تتفق مع معطيات الجدول (١) ، بند 41 من تعليمات VDE 0100 وبها أصغر مقاطع الموصلات الكهربائية . ولا تسخن الموصلات إلى درجة غير مسموح بها ، عند التحميل الإسمي ، إذا اتفقت مساحة المقطع مع معطيات الجدول (٢) ومع الجدولين (٤) و(٥) في بند 41 من تعليمات VDE 0100

**الجدول (٢)** (انظر الملحق : جدول الأعداد للمهن الكهربائية)

**أ ) مساحات المقاطع الإسمية :** تحتوي الخانة الأولى على مساحات مقاطع الموصلات الإسمية من $0,75\ mm^2$ إلى $500\ mm^2$ وهي موحدة . وتبلغ الزيادة من مقطع إلى آخر حوالي 1,6 مرة .

**ب) مواد الموصلات :** تصلح الخانات 2 و4 و6 للموصلات النحاسية والخانات 3 و5 و7 لموصلات الألومنيوم ، لنفس تحميل التيار . ويكون الموصل المصنوع من الألومنيوم دائما أكبر بدرجة في مساحة المقطع ، أي أكبر بمقدار 1,6 مرة من النحاس ، لأن النسبة بين قيمتي الموصلية (1,6 = 35 ÷ 56) تتفق مع فرق الدرجة لمساحة المقاطع الإسمية .

**ج) مجموعات التحميل :**

| | المجموعة | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| مثال : | I (A) | 48 | 65 | 78 |
| $Cu\ 10\ mm^2$ | $S\ (\frac{A}{mm^2})$ | 4,8 | 6,5 | 7,8 |

يحدث فقد في القدرة نتيجة لمرور تيار في الموصل :

$$P_l = \Delta U \cdot I = I^2 \cdot R_L$$

وفقد في الحرارة Q : $Q = P \cdot t\ (Ws)$ أو $Q = I^2 \cdot R_L \cdot t$

وتنتقل هذه الحرارة إلى المادة العازلة التي توصلها بدورها للحيز المحيط ومن هنا تتباين فروض تبديد حرارة الفقد . ولمواجهة هذا التباين ، تم تكوين ثلاث مجموعات تحميل (مجموعات انتقال) ، تختلف عن بعضها البعض تبعا لكثافة التيار فيها (انظر البند (ج) أعلاه) .

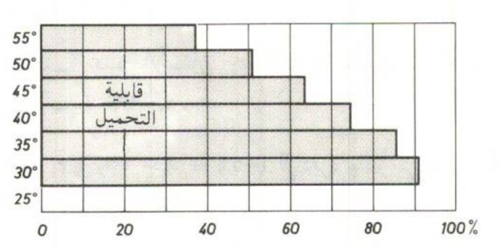
**د ) درجة الحرارة الحدية :**

| درجة حرارة الغرفة | حد التسخين |
|---|---|
| 25°C + | 35°C |
| درجة الحرارة الحدية 60°C+ | |

تكون مادة العزل حساسة تجاه درجة الحرارة . وتبلغ درجة حرارة الموصل الحدية طبقا للبند 41 من تعليمات VDE 0100 60°C+ (للعزل بالمطاط) أو 70°C+ (للعزل بمادة PVC) .

وبافتراض أن درجة حرارة الغرفة 25°C+ على الأكثر فإن التسخين الحدي للموصل يبلغ 35°C أو 45°C .

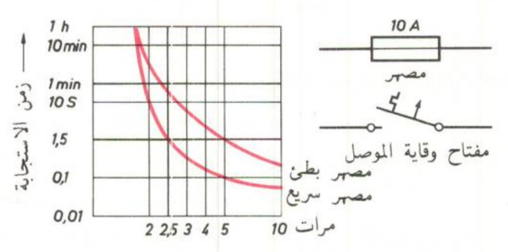
انظر الجداول المرفقة بالكتاب




النسبة المئوية للحمل الاسمي وفقا للجدول (٢) (المرفق بالكتاب)

تصلح معطيات الجدول (٢) بند 41 من تعليمات VDE 0100 لدرجة حرارة الغرفة حتى 25°C+ فقط ، وإذا ما كانت درجة الحرارة المتوسطة للغرفة أعلى فإنه يسمح للموصل بالتحميل بجزء من الحمل الإسمي طبقا للجدول (٢) . ويعطي الجدول (٤) (المرفق بالكتاب) هذا الجزء كنسبة مئوية . وتقع القيم للعزل المطاطي بين 92% عند درجة حرارة الغرفة 30°C+ و 38% عند 55°C+ . ويجب اختيار مقطع أكبر للموصل المناظر ويكون التأمين بموصل يكفي مقطعه لدرجة حرارة الغرفة 25°C+ .

## وقاية الموصلات الكهربائية - حساب المصاهر




يلزم وجود المصاهر السريعة والبطيئة التأثير ومفاتيح وقاية الموصلات الكهربائية لحمايتها ضد التحميل الزائد وفصل الدائرة عنها بسرعة في حالة قصر الدائرة ، ويبين الجدول (٦) (المرفق بالكتاب) قيمها الإسمية . ولانتقاء القيم الإسمية يجب مراعاة البند 41 بالتعليمات VDE 0100 .

وتفصل المصاهر السريعة التأثير (انظر المنحنى الخصائصي) عند تيار يصل إلى 2,5 مرة مثل التيار الإسمي («تيار الفصل») في ثانية واحدة . أما المصاهر البطيئة التأثير فتبدأ في الفصل عند أربعة أمثال التيار الإسمي في ثانية واحدة . وتسلك مفاتيح LP (وقاية خطوط التوصيل) سلوكًا مماثلًا تقريبًا للمصاهر البطيئة التأثير .

مثال :

يحمّل موصل من النحاس من المجموعة 2 عند 20°C+ تحميلا مستمرا بالتيار 45 A والمطلوب اختيار مقطع الموصل والمصهر المناسب .

الحل : الجدول (٢) ، الخانة (٤) : $I = 47\ A,\ A = 6\ mm^2$

الجدول (٦) ، الخانة (٣) : مقدرة تحمّل المصهر = 50 A

تمرينات

٥٨ – ١ عين المساحة المستعرضة لمقاطع المصاهر للموصلات النحاسية من المجموعة 1 وقيم تحمل المصاهر عند +20°C .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تيار الموصل I (A) | 13 | 32 | 24 | 95 | 18 | 42 |
| مساحة المقطع A (mm²) | ? | ? | ? | ? | ? | ? |
| تحمل المصهر (A) | ? | ? | ? | ? | ? | ? |

٥٨ – ٢ أكمل قيم الجدول للموصلات النحاسية عند درجة حرارة الغرفة +20°C .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحة المقطع A (mm²) | 2,5 | 6 | ? | 10 | 1,5 | ? |
| المجموعة طبقا للجدول (٢) | 2 | ? | 3 | ? | 1 | 3 |
| تحمل المصهر I (A) | ? | 35 | 35 | 63 | ? | 50 |

٥٨ – ٣ أكمل خطة تركيب الموصلات الكهربائية بتدوين مساحة مقاطع الموصلات وتحمل المصاهر .

درجة حرارة الغرفة +20°C

1/N~50 Hz 220 V

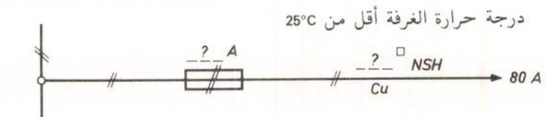
? A — ? (fip) Cu — 12 A

? A — ? (si) Al — 62 A

? A — ? (b) Cu — 25 A

? A — ? (bo) Cu — 54 A

٥٨ – ٤ دوّن في خطة تركيب الموصلات ، قيم مساحة المقاطع وتحمل المصاهر .




٥٨ – ٥ اوجد لخطة تركيب التوصيلة : أ) قيم التيار ب) مساحات المقاطع ج) تحمل المصاهر .

درجة حرارة الغرفة أقل من 25°C

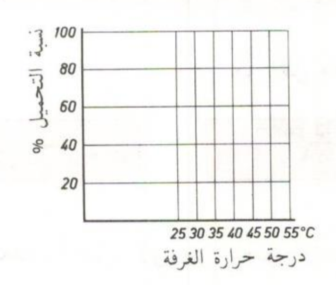
3~50 Hz 220V

A — 1,5 (fip) Cu — I=?

A — ? (sp) Cu — 3,7 kW 220 V

A — ? (sip) Cu — 4,5 kW 220 V

٥٨ – ٦ ارسم مستعينا بقيم الجدول (٤) في البند 41 من تعليمات VDE 0100 رسما توضيحيا على الرسم التخطيطي المعد .




٥٨ – ٧ حمّل موصل من النحاس من المجموعة 1 بتيار : I=60 A عين مساحة المقطع ومقدار تحمل المصهر لدرجة حرارة غرفة قدرها :

أ) +25°C ب) +30°C ج) +35°C د) +40°C هـ) +45°C و) +50°C

الحل للجزء (د) :

١ – مساحة المقطع عند 25°C من الجدول (٣) (بند 41 من تعليمات VDE 0100) هي A=16 mm²

٢ – مقدار تحمل المصهر طبقا للمجموعة 1 هي I=63 A

٣ – مقدرة التحميل عند 25°C هي I=65 A

٤ – مقدرة التحميل عند 40°C=75% من 65 A أي أن I=48A

٥ – المعلوم : يوجد تحميل قدره 60 A عند +40°C يسمح بتيار 48 A فقط ، أي أن المقطع صغير للغاية .

٦ – يختار مقطع أكبر ويكون : A=25 mm²

٧ – مقدرته على التحميل عند 25°C هي I=88 A

٨ – مقدرته على التحميل عند 40°C=75% من 88 A أي أن I=66 A

٩ – النتيجة : مساحة المقطع A=25 mm² كافية .

١٠ – يكون المصهر مناسبا لمساحة مقطع قدرها A=16 mm² أي يكون 63 A .

٥٨ – ٨ عيّن مساحات مقاطع الموصلات ومقادير تحمل المصاهر تبعا لطريقة الحل السابقة .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تيار الموصل I (A) | 85 | 20 | 100 | 55 | 22 | 200 |
| درجة حرارة الغرفة (°C) | 30 | 55 | 35 | 50 | 45 | 40 |
| مجموعة الانتقال | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| مادة الموصل | Cu | Al | Cu | Al | Cu | Al |

٥٨ – ٩ احسب كثافة التيار للموصل النحاسي إذا كانت مساحة المقطع هي :

أ) 10 mm² ب) 16 mm² ج) 50 mm²

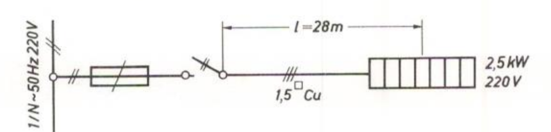
عند درجات الحرارة : أ) 25°C ب) 35°C ج) 55°C

تؤخذ قيم التيار من الجدولين (٢) و (٤) في البند 41 من تعليمات VDE 0100 .

٥٨ – ١٠ موصل هوائي من النحاس مقاومته 0,82 Ω ، يمر به يوميا تيار قدره 40 A لمدة 10 h 20 min .

ما مقدار الحرارة المفقودة Q التي تنشأ عن مرور التيار في الموصل؟

٥٨ – ١١ ما مقدار الحرارة المفقودة الناشئة في دائرة التيار إذا سحب الجهاز قدرة مقدارها 2,5 kW ، ووصّل لمدة 4 h؟

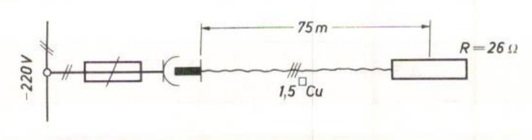



٥٨ – ١٢ أوجد من البيانات المدونة على الرسم ما يلي :

أ) مقدار هبوط الجهد المفقود في الموصل .

ب) الجهد الواقع على المقاومة

ج) مقدار الحرارة المفقودة Q ، بالجول (J)، إذا وصلت المقاومة لمدة 10 h



## طبيعة فرق الجهد ΔU

إذا ما وجدت مساحة مقطع الموصل طبقا للتعليمات VDE 0100 يجب التحقق أيضا من اتفاقها مع الشروط الفنية للتوصيل الخاصة بشركة الكهرباء. وهذه تتطلب، ضمن أشياء أخرى، ألا يتعدى هبوط الجهد في خطوط التغذية، بين أطراف الإتصال بالشبكة وأطراف الحمل، النسب المئوية التالية (تختلف معطيات الهبوط باختلاف المكان):

أ ) من أطراف الإتصال بالمسكن حتى العداد 0,5%

ب) منشآت بمصابيح متوهجة: من 1,5% إلى 2%

ج) منشآت ذات أجهزة تدفئة كبيرة: 3%

د ) منشآت ذات محركات: من 4% إلى 5%

وتضيع الجهود المفقودة في موصلي الذهاب والعودة على المستهلك وهي لذلك تسمى بهبوط الجهد. ويحدث أيضا في خطوط التغذية فقد في الجهد، ففي منشآت التيار العالي لأقل من 1000 V ينشأ هبوط الجهد أساسا عن طريق مقاومة الموصل والتيار المار فيه، أي أنه الفرق الذي يمكن قياسه بين جهد الشبكة (U) وجهد الأطراف ($U_{term}$). لذلك فإنه يسمى فرق الجهد (ΔU):

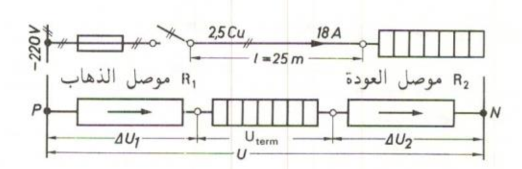
$$\Delta U = U - U_{term} \quad V$$

تزداد ΔU كلما زادت قيمة مقاومة الموصل وكلما زاد التيار المار فيه.

$$\Delta U = I \cdot R \quad V$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot A} \quad V$$

## حساب ΔU لموصل بحمل واحد عند نهايته




ملاحظة: يقصد بطول الموصل دائما، ما يسمى بالطول البسيط، أي البعد بين موضع الإتصال وأطراف الحمل. وفي منشآت التيار المستمر يجب وضع ضعف القيمة (موصلي الذهاب والعودة).

مثال: أوجد هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية طبقا للبيانات الموضحة بالرسم.

الحل: (في خط العودة) $+ I \cdot R_2$ (في خط الذهاب) $\Delta U = I \cdot R_1$

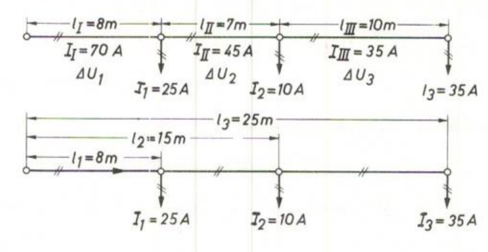
$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot R = 2 \cdot I \frac{l}{\varkappa \cdot A} = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot A}$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 25 \cdot 18}{56 \cdot 2{,}5} V \qquad 220\,V \mathrel{\hat=} 100\%$$

$$\underline{\Delta U = 6{,}25\,V} \qquad 1\,V \mathrel{\hat=} \frac{100\%}{220} = 0{,}455\%$$

$$6{,}25\,V \mathrel{\hat=} 6{,}25 \cdot 0{,}455\% = \underline{2{,}84\%}$$

## حساب ΔU لخط توزيع متعدد الأحمال




ملاحظة: تنطبق الصيغ الرياضية الأساسية على موصلات التيار المستمر وموصلات التيار المتردد ذات الأحمال غير الحثية.

مثال: احسب هبوط الجهد ΔU من الدائرة الموضحة بالرسم

طريقة الحل: «مترأمبير» (أطوال جزئية)

$$\Delta U = \frac{2}{\varkappa \cdot A} \Sigma l \cdot I$$

$$\Delta U = \Delta U_I + \Delta U_{II} + \Delta U_{III} = \frac{2 \cdot l_I \cdot I_I}{\varkappa \cdot A} + \frac{2 \cdot l_{II} \cdot I_{II}}{\varkappa \cdot A} + \frac{2 \cdot l_{III} \cdot I_{III}}{\varkappa \cdot A} = \Delta U = \frac{2}{\varkappa \cdot A} \cdot (l_I \cdot I_I + l_{II} \cdot I_{II} + l_{III} \cdot I_{III})$$

طريقة الحل: عزوم التيار (تيارات جزئية)

$$\Delta U = \frac{2}{\varkappa \cdot A} (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + l_3 \cdot I_3)$$

## الحمل الحثي للتيار المتردد

شدة التيار

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

موصل ذو حمل مفرد عند نهايته

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

خط توزيع متعدد الأحمال (في حالة الحمل اللاحثي: $\cos\varphi = 1$)

$$\Delta U = \frac{2 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + \ldots) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

## الإمداد بثلاثة موصلات للتيار ثلاثي الأطوار

شدة التيار

$$I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}$$

ذو حمل مفرد عند نهايته

$$\Delta U = \frac{l \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

خط توزيع متعدد الأحمال (في حالة الحمل اللاحثي: $\cos\varphi = 1$)

$$\Delta U = \frac{1{,}73 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + \ldots) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

الحمل عند النهاية = الموصل ذو الحمل المفرد عند نهايته

٥٩ – ١ احسب جهود الأطراف $U_{term}$ (V)

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جهد الشبكة بوحدة(V) | 220 | 380 | 110 | 500 | 230 | 440 |
| فرق الجهد ΔU كنسبة مئوية | 1,5 | 3 | 1,2 | 3,6 | 0,6 | 4,5 |

٥٩ – ٢ احسب للمسائل التالية فرق الجهد (ΔU) كنسبة مئوية.

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| جهد الشبكة U (V) | 180 | 220 | 440 | 600 | 750 | 380 |
| جهد الأطراف $U_{term}$(V) | 108 | 215 | 412 | 582 | 720 | 372 |

٥٩ – ٣ احسب ΔU(V) و $P_l$ (W) لمنشأة تيار مستمر تستخدم خطي توصيل من موصل نحاسي ذي $\varkappa = 56\ Sm/mm^2$.

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الطول المفرود l (m) | 8 | 21 | 4 | 7 | 28 | 21 |
| مساحة المقطع A (mm²) | 1,5 | 4 | 10 | 2,5 | 25 | 6 |
| التيار I (A) | 10 | 25 | 42 | 18 | 80 | 30 |

٥٩ – ٤ احسب القيم الناقصة بالجدول لمنشأة تعمل بالتيار المتردد ذات تحميل لا حثي وتستخدم موصلا نحاسيا ذا $\varkappa = 56\ Sm/mm^2$.

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحة المقطع A (mm²) | 2,5 | 10 | 6 | 4 | 25 | 16 |
| الطول المفرود l (m) | ? | 42 | ? | 20 | ? | 8,4 |
| تيار الموصل I (A) | 21 | ? | 30 | ? | 72 | ? |
| فرق الجهد ΔU (V) | 3 | 6 | 2,5 | 4 | 2 | 1,2 |

٥٩ – ٥ احسب القيم الناقصة بالجدول لمنشأة، تعمل بالتيار ثلاثي الأطوار، تستخدم ثلاثة موصلات نحاسية ($\varkappa = 56\ Sm/mm^2$) ومحملة بتوزيع متساو وتحميلا لا حثيا.

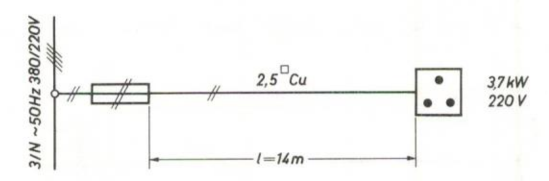
| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحة المقطع A (mm²) | 2,5 | 10 | 6 | 4 | 25 | 16 |
| الطول المفرود l (m) | ? | 42 | 20 | 28 | 21 | ? |
| تيار الموصل I (A) | 21 | ? | 30 | ? | 72 | 64 |
| فرق الجهد ΔU (V) | 3 | 6 | ? | 5 | ? | 1,2 |

٥٩ – ٦ كم أمبيرا يمكن أن ينقلها خط توصيل للتيار المستمر 220 V، ذو مقطع نحاسي 6 mm²، لمسافة 28 m، عند فرق جهد 2,5%؟ قارن النتائج بالمجموعة 1 في الجدول (٢) (بند 41 من تعليمات VDE 0100).

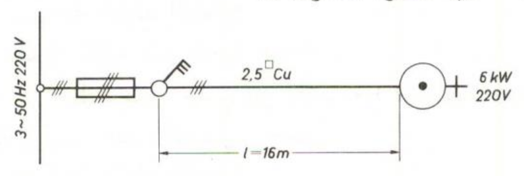
٥٩ – ٧ كم أمبيرا يمكن أن ينقلها خط توصيل للتيار المستمر 220 V، ذو مقطع من الألومنيوم مساحته 6 mm² و $\varkappa = 34\ Sm/mm^2$، عند فرق جهد 2,5% لمسافة 28 m؟ قارن النتائج بالمجموعة 1. الجدول (٢) (بند 41 من تعليمات VDE 0100).

٥٩ – ٨ كم أمبيرا يمكن أن ينقلها خط تغذية للتيار ثلاثي الأطوار 220 V، ذو ثلاثة موصلات، مساحة مقطع الموصل 6 mm² وهو مصنوع من النحاس، عند فرق جهد 2,5% و cosφ=1، لمسافة 28 m؟ قارن النتائج بقيم المجموعة 1 الجدول (٢) (بند 41 من تعليمات VDE 0100).

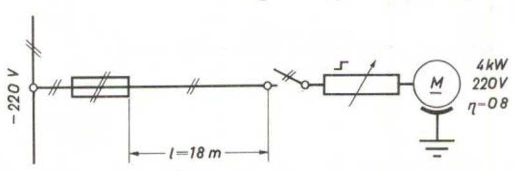
٥٩ – ٩ يراد وصل موقد كهربائي صغير طبقا للرسم التخطيطي الموضح. ما مقدار جهد الأطراف عند استخدام القدرة الكاملة للموقد؟



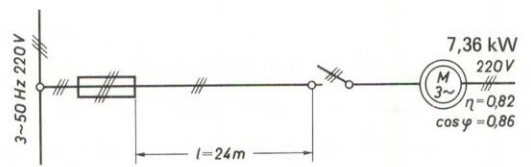

٥٩ – ١٠ وصّل مسخن مياه معطيات لوحته 220 V/6 kW على شبكة تيار ثلاثي الأطوار 220 V 3~50 Hz بموصلات نحاسية مساحة مقطع كل منها 2,5 mm² وطول كل منها 16 m. احسب: أ) جهد الأطراف $U_{term}$ ب) ΔU بوحدة (V) وبالنسبة المئوية ج) القدرة المفقودة $P_l$.




٥٩ – ١١ احسب للمنشأة الموضحة بالشكل: أ) تيار المحرك ب) مساحة المقطع A (mm²)، نحاس المجموعة1 ج) ΔU كنسبة مئوية د) القدرة المفقودة $P_l$.




٥٩ – ١٢ القيم الإسمية لعضو دوار ذي حلقات انزلاق هي η=0,82 و cosφ=0,86 و 7,36 kW، وهو موصل على شبكة تيار ثلاثي الأطوار، 3~50 Hz 220 V. احسب مستعينا بالبيانات الموضحة على الرسم:
أ) التيار الإسمي للمحرك ب) مساحة مقطع الموصل النحاسي من المجموعة 1 ج) ΔU كنسبة مئوية.

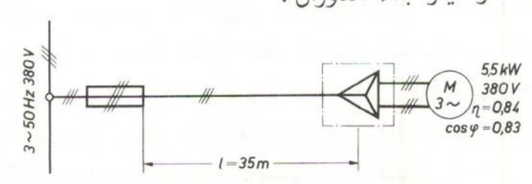



٥٩ – ١٣ محرك ذو عضو دوار مقصر الدائرة بالمعطيات التالية:

5,5 kW, 380 V; η=84%, cosφ=0,83

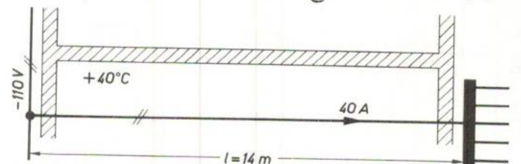
وصّل بمفتاح نجمي / مثلثي إلى شبكة تيار ثلاثي الأطوار 3~50 Hz 380 V، عين:

أ) مساحة مقطع الموصل النحاسي تبعا للمجموعة 1.
ب) جهد الأطراف ($U_{term}$) عند الحمل الإسمي
ج) مقدار تيار بدء الدوران.



٥٩ – ١٤ مد خط توصيل للتيار المستمر 110 V من نحاس من المجموعة 1 ومحمل بتيار 40 A خلال أماكن تشغيل تبلغ درجة الحرارة المتوسطة المحيطة بها +40°C .

احسب : أ) مساحة مقطع الموصل طبقا للجدول (2) ب) مقدرة الموصل على التحميل طبقا للجدول (4) ج) احكم على اختيار مساحة مقطع الموصل وغيره إذا لزم الأمر .




٥٩ – ١٥ مد خط توصيل تيار مستمر 220 V من الألومنيوم ϰ=34 Sm/mm² من المجموعة 2، ويبعد عن موضع الاتصال مسافة 21 m ومحمل بقدرة 14,3 kW ويمر في مجال تشغيل ذي درجة حرارة قدرها +35°C . احسب :

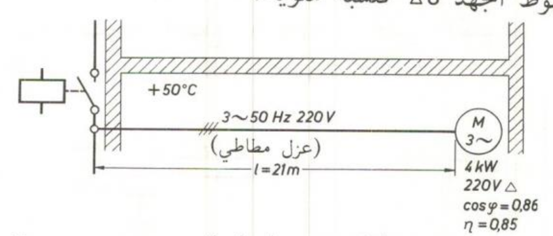
أ) مساحة المقطع A (mm²)

ب) هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية .

٥٩ – ١٦ خط توصيل نحاسي من المجموعة 1 ممتد طبقا لمعطيات خطة تركيب خط التوصيل . احسب :

أ) مساحة المقطع A (mm²)

ب) هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية .



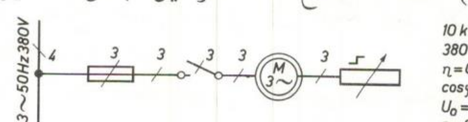

٥٩ – ١٧ وصّل فرن معاملات حرارية قدرته 15 kW بوحدة تيار ثلاثي الأطوار 3~50 Hz 500 V وعلى بعد 35 m منها .

احسب : أ) مساحة مقطع النحاس من المجموعة 1 إذا كانت درجة حرارة الغرفة +40°C ب) هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية . ج) الفقد في القدرة كنسبة مئوية .

٥٩ – ١٨ خط تغذية محرك من النحاس مساحة مقطعه 10 mm² وطوله 35 m ينقل قدرة قدرها 9,5 kW عند cosφ=0,85، وجهد متردد 220 V .

احسب الفقد في القدرة بالواط (W) في الخط وبالنسبة المئوية .

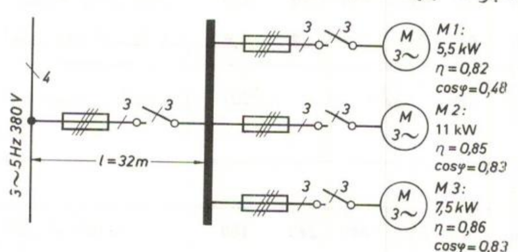
٥٩ – ١٩ محرك تيار ثلاثي الأطوار ذو عضو دوار بحلقات انزلاق، له القيم الإسمية المعطاة في خط التركيب . لف العضو الدوار لطورين اثنين، وبلغ جهد السكون للعضو الدوار 180 V . فإذا أريد مد خط توصيل من نحاس المجموعة 2 احسب مستعينا ببيانات الرسم : أ) مساحة مقطع خط التغذية للمحرك ب) مساحة مقطع خط التوصيل لبادئ التشغيل .




٥٩ – ٢٠ محرك ذو حلقات انزلاق 14,7 kW و cosφ=0,86 و η=0,82 موصل على تيار ثلاثي الأطوار 3~50 Hz/380 V .

اوجد : أ) مساحة مقطع خط التغذية للمحرك من النحاس طبقا للمجموعة 2، عند هبوط جهد قدره 4% وطول l=42 m ب) مساحة مقطع خط تغذية لبادئ تشغيل عضو دوار ثلاثي الأطوار ($U_0$ = 190 V) طبقا للمجموعة 2 نحاس .

٥٩ – ٢١ منشأة كالموضحة بالرسم موصلة بتيار ثلاثي الأطوار، احسب : أ) التيار الإسمي للمحرك ب) مساحة مقطع خط تغذية المحرك طبقا للمجموعة 1 من النحاس ج) مساحة المقطع A لخط التغذية الرئيسي من النحاس طبقا للمجموعة 1 عند هبوط جهد ΔU=1,5%



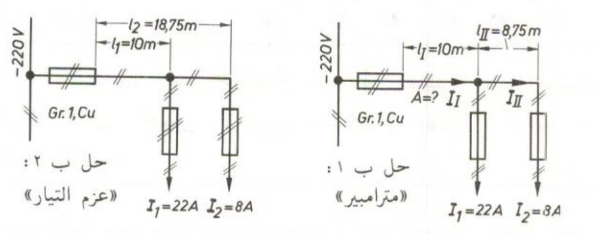

## الحمل الموزع

٥٩ – ٢٢ من خطة التركيب الموضحة بالرسم، احسب :

أ) مساحة المقطع A (mm²) لخط التوزيع المتعدد الأحمال،

ب) النسبة المئوية للهبوط في الجهد ΔU منسوبة إلى الحمل الأخير مستعملا الطريقتين الآتيتين :

١) المتر أمبير ٢) عزوم التيار .




الحل للجزء (أ) :

$I_I = I_1 + I_2 = 22\ A + 8\ A = 30\ A$

يختار موصل مساحة مقطعه : A=6 mm²، نحاس من المجموعة 1

الحل للجزء (ب) :

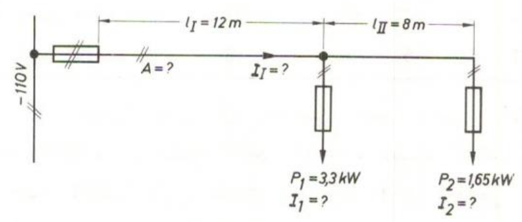
$$\Delta U = \frac{2\cdot(l_I \cdot I_I + l_{II}\cdot I_{II})}{\varkappa \cdot A} = \frac{2\cdot(10\cdot 30 + 8,75\cdot 8)}{56\cdot 6}\ V$$

$$\Delta U = \frac{2\cdot(300+70)}{56\cdot 6}\ V = 2,2\ V = 1\%\ \text{من}\ 220\ V$$

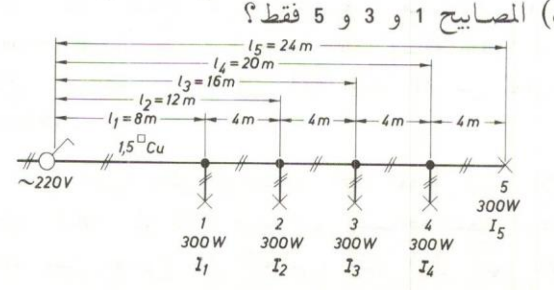
٥٩ – ٢٣ منشأة كالموضحة بالرسم موصلة بأسلاك من النحاس طبقا للمجموعة 1 . احسب :

أ) مساحة المقطع A (mm²)

ب) الهبوط في الجهد ΔU بالفولط وبالنسبة المئوية .




٥٩ – ٢٤ احسب مقدار الجهد $U_5$ على المصباح الأخير بخطة التركيب الموضحة إذا وصلت : أ) جميع المصابيح ب) المصابيح 1 و 3 و 5 فقط؟



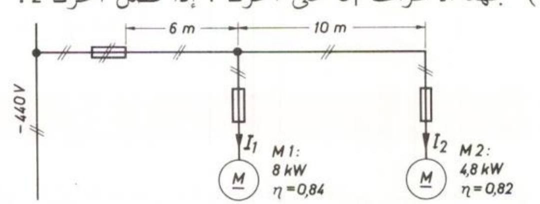
٥٩ – ٢٥ محركان موصلان كما هو موضح بالرسم بموصلات من الألومنيوم ، $\varkappa = 34$ S m/mm² ذات مقاطع ثابتة طبقا للمجموعة 2 احسب :

أ ) التيارين الإسميين للمحركين $I_1$ و$I_2$ والتيار الكلي I .

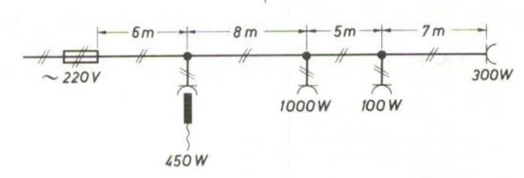
ب) مساحة المقطع A لخط التغذية .

ج) جهد الأطراف $U_2$ على المحرك 2 إذا شغل المحركان بحمليهما الإسميين .

د ) جهد الأطراف $U_1$ على المحرك 1 إذا فصل المحرك 2 .




٥٩ – ٢٦ احسب مقدار الجهد U للحمل الموصل عند نهاية الخط بخطة التركيب الموضحة بالرسم .




٥٩ – ٢٧ المطلوب تنفيذ خطة التركيب الموضحة بالرسم لأربعة أفران تسخين قدرة كل منها 6 kW ، متصلة بتيار ثلاثي الأطوار عن طريق موصل رئيسي من النحاس طبقا للمجموعة 1 .

احسب :

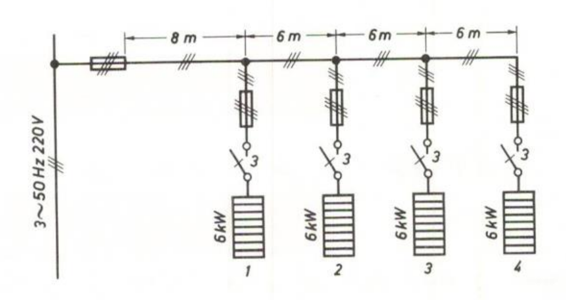
أ ) التيار المسحوب بالفرن

ب) التيار في خط التغذية البالغ طوله 8 m

ج) مساحة المقطع لدرجة حرارة 20°C + . ثم احسب الجهد $U_4$ عند الحمل الأخير إذا :

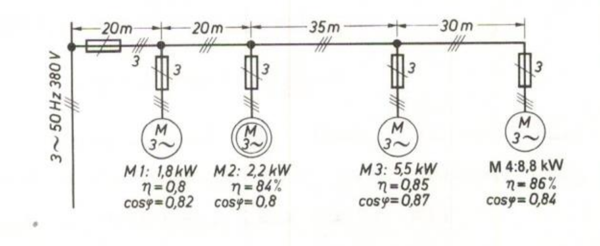
١) وصّلت جميع الأفران بحمل كامل

٢) شغل الفرنان 1 و 4 فقط .




٥٩ – ٢٨ إذا كانت موصلات مجموعة محركات ذات مقطع ثابت ومصنوعة من نحاس طبقا للمجموعة 2 . احسب :

أ ) تيارات المحركات عند الحمل الكامل والتيار الكلي I

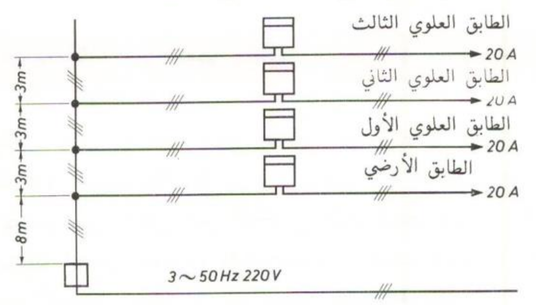



ب) مساحة المقطع الإسمية لخط التغذية عند هبوط جهد $\Delta U \leq 5\%$

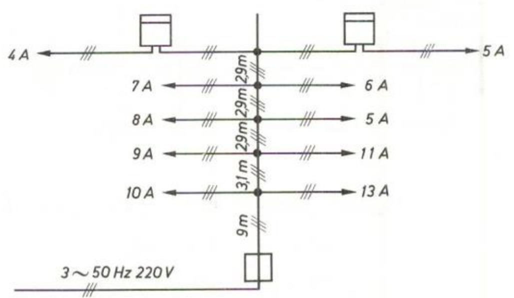
ج) مساحة المقطع لموصلات المحركات الأربعة طبقا للمجموعة 2 نحاس .

## خطوط التوصيل ذات الأحمال الموزعة

٥٩ – ٢٩ احسب هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية لعداد الطابق العلوي الثالث في خط التوصيل الموزع للأحمال الموضح بالرسم إذا كانت مساحة مقطعه 3·25 mm² علما بأن جميع الاستخدامات المنزلية تسحب تيارا عبر العداد قدره 20 A.

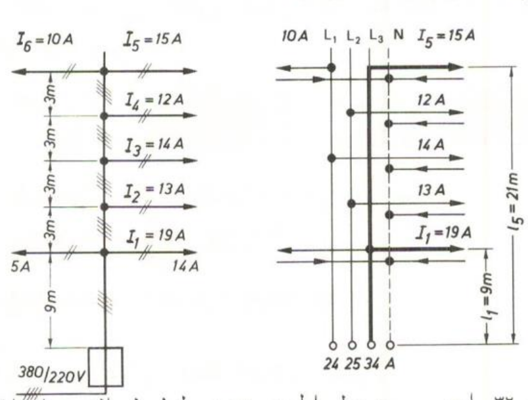



٥٩ – ٣٠ يوضح الرسم خط توصيل ذو أحمال موزعة لمسكن مزدوج ذي خمسة طوابق . احسب مستعينا بمعطيات خطة التركيب الموضحة بالرسم : هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية منسوبًا إلى الحمل الموجود عند نهاية الخط .




٥٩ – ٣١ خصص خط توصيل أحمال موزعة ، ذو أربعة موصلات من النحاس مساحة مقطعه 4·10 mm² للتغذية بالتيار ثلاثي الأطوار 380/220 V 3/N ~ 50 Hz احسب : هبوط الجهد ΔU كنسبة مئوية منسوبًا إلى الحمل الأخير لكل من الموصلات :

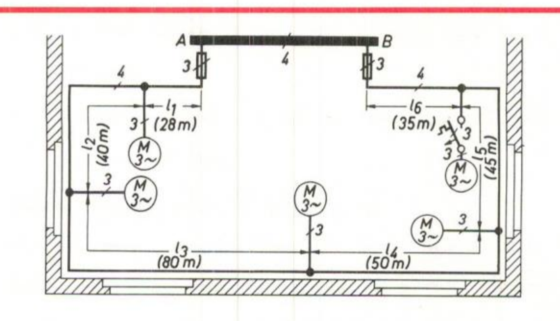
أ ) $L_1$ ب ) $L_2$ ج ) $L_3$




٥٩ – ٣٢ احسب هبوط الجهد ΔU ، لخطوط التوصيل الموزعة في المسألة السابقة ، للتيار ثلاثي الأطوار $\left(\Delta U = \frac{1{,}73 \Sigma I \cdot l}{\varkappa \cdot A}\right)$

أ) بالفولط ب) كنسبة مئوية منسوبا إلى الجهد U = 380 V

ملاحظة : لحساب عزوم التيارات ، اقسم القيم $I_1$ حتى $I_6$ على 3 .




خط التوصيل الحلقي هو خط توصيل رئيسي مقفل ويغذى من الجانبين (A و B) ومميزاته هي :

أ ) مقاطع أصغر للموصلات ، مما يعطي توفيرا في الخامات .

ب) هبوط الجهد أقل مما هو في خط توصيل مفتوح مساو له في مساحة المقطع .

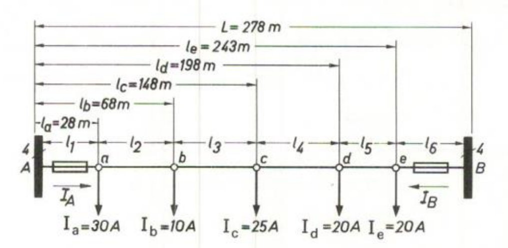
ج) فقد قدرة أقل مما هو في خطوط التوصيل المغذاة من جانب واحد .

د ) أمان أكبر في التغذية بالكهرباء .

## توزيع التيار — نقطة انعكاس التيار — تعيين مساحة المقطع

مثال : يراد توصيل خمسة محركات تيار ثلاثي الأطوار (انظر الشكل) على شبكة التيار ثلاثي الأطوار ، 380 V ، عن طريق خط توصيل حلقي من النحاس طبقا للمجموعة 2 ، إذا كان متوسط معامل القدرة : $\cos\varphi = 0{,}85$ . احسب مساحة المقطع A لخط التوصيل الحلقي ، عند هبوط جهد $\Delta U = 3\%$ .

طريقة الحل :




### أ ) التيار الكلي في خط التوصيل المقفل :

$I = I_a + I_b + I_c + I_d + I_e$

$I = (30 + 10 + 25 + 20 + 20)\ A = \underline{105\ A}$

### ب) طول خط التوصيل الحلقي :

$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6$

$L = (28 + 40 + 80 + 50 + 45 + 35)\ m = \underline{278\ m}$

### ج) مقادير تياري التغذية $I_A$ و $I_B$:

شدة التيار $I_B$ المار في B في خط التوصيل الحلقي ، وشدة التيار $I_A$ المار في A في خط التوصيل الحلقي :

محسوبا من النقطة A $\quad I_B = \dfrac{\Sigma l \cdot I}{L}$

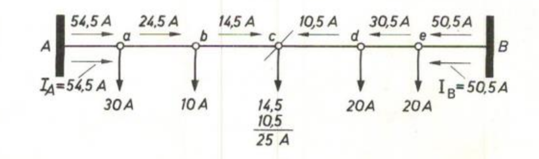
محسوبا من النقطة B $\quad I_A = \dfrac{\Sigma l \cdot I}{L}$

$$I_B = \frac{l_a \cdot I_a + l_b \cdot I_b + l_c \cdot I_c + l_d \cdot I_d + l_e \cdot I_e}{L}$$

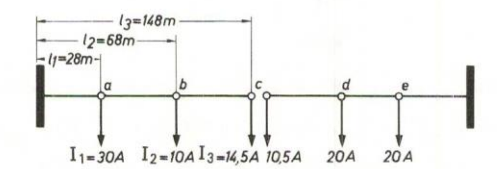
$$I_B = \left(\frac{840 + 680 + 3700 + 3960 + 4860}{278}\right) A$$

$I_B = \underline{50{,}5\ A};\quad I_A = 105\ A - 50{,}5\ A = \underline{54{,}5\ A}$

### د ) توزيع التيار ، نقطة انعكاس التيار .




تغذى نقطة التفرع c من جانبين : فهي تحصل على 14,5 A من اليسار ، وعلى 10,5 A من اليمين وبذا تكون النقطة c هي نقطة «انقلاب التيار» وعندها نتصور قطع خط التوصيل الحلقي . ونحصل بذلك على خطي توصيل مغذى كل منهما من جانب واحد مع وجود حمل موزع وعزوم تيار متساوية :




### هـ) تعيين مساحة مقطع خط التوصيل الحلقي :

تستنتج مساحة المقطع من صيغ ΔU الرياضية التالية للحمل الموزَّع :

١ - هبوط الجهد ΔU للتيار المستمر :

$$\Delta U = \frac{2}{\varkappa \cdot A} \cdot \Sigma l \cdot I$$

٢ - هبوط الجهد ΔU للحمل الحثي للتيار المتردد :

$$\Delta U = \frac{2 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + ..) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

٣ - هبوط الجهد ΔU للحمل الحثي للتيار ثلاثي الأطوار :

$$\Delta U = \frac{1{,}73 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + ..) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

في الأحمال غير الحثية ، نعوِّض عن قيمة $\cos\varphi$ في الصيغ الرياضية بالقيمة العددية 1 .

### و ) نقطة انعكاس التيار عند نقطة التفرع c

$$\Delta U = \frac{1{,}73 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + l_3 \cdot I_3) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$$

$$A = \frac{1{,}73 \cdot (l_1 \cdot I_1 + l_2 \cdot I_2 + l_3 \cdot I_3) \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot \Delta U}$$

$$A = \frac{1{,}73 \cdot (28 \cdot 30 + 68 \cdot 10 + 148 \cdot 14{,}5) \cdot 0{,}85}{56 \cdot 11{,}4}$$

$A = \dfrac{5390}{638{,}4} = 8{,}7\ mm^2;\quad A = \underline{10\ mm^2}$

يجب التوصيل بموصل من النحاس مساحة مقطعه $A = 10\ mm^2$ طبقا للمجموعة 2 من تعليمات VDE 0100 ويمكن تحميله بتيار 65 A كما يجب تأمينه ضد تيار 63 A.

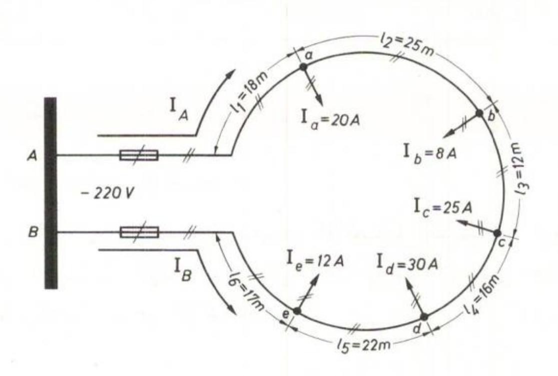
## تمرينات

٦٠ – ١ يراد توصيل منشأة كهربائية بواسطة خط توصيل حلقي على شبكة تيار مستمر 220 V (أنظر الشكل التخطيطي)

أ ) احسب قيم التيار المغذى من نقطتي التغذية A و B

ب) أين تقع نقطة انعكاس التيار؟

ج) بأي قدر من التيار تغذى «نقطة انعكاس التيار» ؟




٦٠ – ٢ لأسباب تتعلق بالأمان، يراد تركيب خط توصيل المقابس لورشة ميكانيكية كخط توصيل حلقي، وتم التوصيل بموصلات نحاسية طبقا للمجموعة 2 . فإذا كانت الأحمال الفعالة البحتة هي الموضحة في الشكل التخطيطي وبلغ فرق الجهد ΔU المسموح به 2% من جهد الشبكة . اوجد :

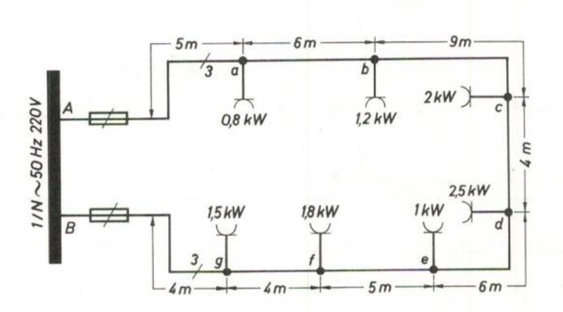
أ ) قيم التيار المغذاه من A و B .

ب) عند أي نقطة يتصور قطع خط التوصيل؟

ج) مساحة المقطع المستعرض الذي يجب استخدامه في التوصيل، عند أخذ قيم ΔU في الاعتبار؟

د ) بكم أمبير يلزم تأمين خط التوصيل الحلقي؟

هـ ) مقدار الفقد في القدرة بخط التوصيل .



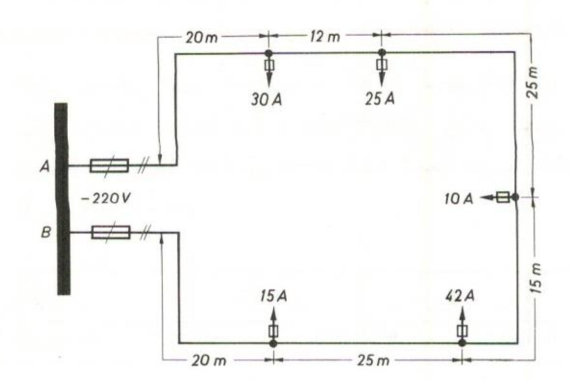

٦٠ – ٣ يراد حساب خط التوصيل الحلقي المزدوج الموصلات للتيار المستمر الموضح بالشكل، عند جهد شبكة قدره : U = 220 V بفرض وصل 80% من الأحمال في وقت واحد على ألا يتعدى فرق الجهد ΔU نسبة 4% من جهد الشبكة .

احسب :

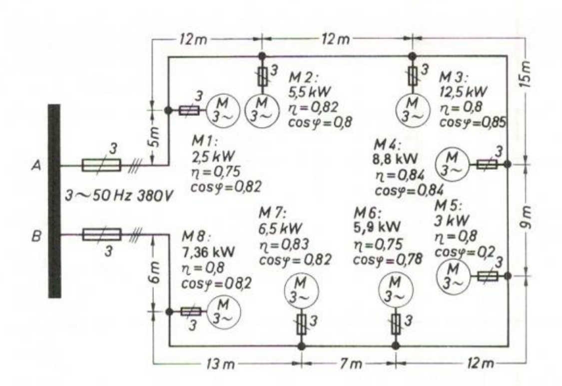
أ ) مساحة مقطع الموصل النحاسي من المجموعة 1 المستخدم في التوصيل .

ب) بكم أمبير يلزم تأمين خط التوصيل الحلقي؟

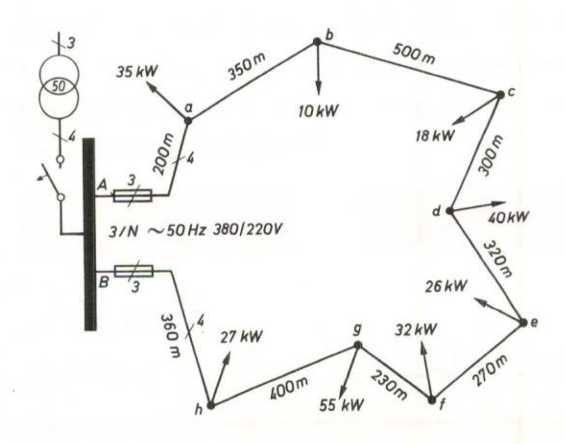
ج) مقدار التأمين لخطوط التغذية المنفردة للمحركات إذا كانت من نحاس المجموعة 2 .




٦٠ – ٤ يراد توصيل 8 محركات ثلاثية الأطوار في مصنع (انظر الرسم التخطيطي) على شبكة التيار ثلاثي الأطوار، 380 V ، بواسطة خط توصيل حلقي . احسب مساحة مقطع خط التوصيل للتيار ثلاثي الأطوار، طبقا للمجموعة 2 نحاس بحيث لا يسمح لهبوط الجهد ΔU أن يتجاوز القيمة 5% ، إذا علمت أنه أخذ كأساس لمجموعة المحركات الكلية معامل قدرة متوسط cos φ = 82% ومعامل تزامن التحميل (تشغيل في آن واحد) قدره 80% .




٦٠ – ٥ يراد توصيل الشبكة الموضحة في الرسم التخطيطي وتعمل على : 3/N ~ 50 Hz 380/220 V ، كشبكة حلقية من خط هوائي لنقل القدرة . يجب أخذ القيم التالية كأساس للحساب : معامل القدرة المتوسط cos φ = 0,85 ، هبوط الجهد ΔU = 5% (من 380 V) ، معامل تزامن التحميل= 75% ومعدن الموصل من النحاس . ما هي مساحة المقطع المطلوبة لخط التوصيل الحلقي إذا حملت الموصلات الخارجية الثلاثة تحميلا متساويا؟



تحوّل مصـادر الضوء الـكهربائية الطاقة الـكهربائية إلى طاقة ضوئية. والطاقة الضوئية هي إشعاعات كهرومغنطيسية تنتشر على شكل موجات بسرعة قدرها 300 000 km/s. وتشعر العين بالطاقة المتذبذبة من الطيف الـكلي للإشعاع الـكهرومغنطيسي في مجال الترددات من $4 \cdot 10^{14}$Hz إلى $7{,}9 \cdot 10^{14}$Hz، كأشعة ضوئية يناظر كل لون ضوئي منها ترددا معينا، ويعطي خليط الترددات (الطيف)، لون الضوء الأبيض.

| اللون | بنفسجي | أزرق | أخضر | أصفر | برتقالي | أحمر | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التردد Hz | $7{,}9 \cdot 10^{14}$ | $6{,}82 \cdot 10^{14}$ | $6 \cdot 10^{14}$ | $5{,}35 \cdot 10^{14}$ | $5 \cdot 10^{14}$ | $4{,}62 \cdot 10^{14}$ | $4 \cdot 10^{14}$ |

## الـكميات الأسـاسية في هندسة الإضـاءة: التدفق الضوئي – كفاية مصدر الإضـاءة

### ١ – التدفق الضوئي Φ

تسمى قدرة الأشعة المرئية، الصادرة من مصدر إضـاءة، والمرسلة في جميع الاتجاهات بالتدفق الضوئي ويقاس باللومن (lm).

1 lm = التدفق الضوئي الذي ينبعث من مصدر إضـاءة على شكل نقطة، شدة إضـاءته شمعة واحدة (كانديلا) 1cd، بانتظام في جميع الاتجاهات بزاوية إشعاع فراغية 1sr. ويختلف عدد اللومنات تبعا لنوع وحجم مصدر الإضـاءة (انظر الجدول بصفحة ١٤٩)

### ٢ – كفاية مصدر الإضـاءة

يحكم على مدى اقتصادية مصدر الإضـاءة الـكهربائي تبعا لمقدار اللومنات المولدة من كل واط واحد. وتسمى هذه القيمة بكفاية مصدر الإضـاءة $\eta_L$:

$$\eta_L = \frac{\text{التدفق الضوئي (lm)}}{\text{القدرة الـكهربائية (W)}} = \frac{\Phi}{P}$$

## كفاية الإضـاءة – شدة الإضـاءة – تخطيط نظم الإضـاءة

نوع الإضـاءة

| | مباشر | | منتظم | | غير مباشر | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| توزيع الإضـاءة من السقف إلى الأرضية | | | | | | |
| أسطح الغرفة | معتمة | ساطعة | معتمة | ساطعة | معتمة | ساطعة |
| غرف كبيرة منخفضة السقف | 0,45 | 0,5 | 0,25 | 0,38 | 0,15 | 0,30 |
| غرف صغيرة عالية السقف | 0,4 | 0,45 | 0,20 | 0,30 | 0,10 | 0,20 |

### ٣ – كفاية الإضـاءة

يستفاد بجزء فقط من التدفق الضوئي على السطوح المراد إضـاءتها، إذ تضـاء السطوح المحيطة بالمكان المراد إضـاءته وبالتالي فهي تمتص وتعكس جزءا من الأشعة الضوئية، فينقص التدفق الضوئي المستفاد $\Phi_2$ عن التدفق الضوئي المتولد $\Phi_1$ بمقدار حاصل جمع المفقودات L.

$$\eta = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$$

$$\Phi_2 = \Phi_1 - L$$

### ٤ – شدة الإضـاءة

بقسمة التدفق الضوئي المستفاد على المساحة المضاءة، نحصل على عدد اللومنات لكل $m^2$. ويعرف الناتج بشدة الإضـاءة (الإستضـاءة) E. وتقاس باللوكس (lx). وتساوي شدة الإضـاءة 1 lx إذا أضيئت المسـاحة $A = 1\ m^2$ من التدفق الضوئي $\Phi = 1$ lm.

شدة الإضـاءة (الإستضـاءة):

$$E = \frac{\text{التدفق الضوئي المستفاد}}{\text{المساحة المضاءة}} = \frac{\Phi_1 \cdot \eta}{A}$$

شدة الإضـاءة التي يوصى بها للغرف الداخلية:

| مثال | E (lx) | نوع العمل | الإضـاءة المطلوبة |
|---|---|---|---|
| الأقبية، الدهاليز، دورات المياه | 30 | – | بسيطة جدا |
| حجرات التخزين، الدرج، الحمامات | 60 | غير دقيق | بسيطة |
| حجرات المعيشة، المطابخ، صـالات البيع. | 120 | متوسط الدقة | متوسطة |
| قاعات الدراسة، وقاعات المكاتب والحياكة | 250 | دقيق | عالية |
| صـالات الرسم | 600 | دقيق جدا | عالية جدا |

صالحة للإضـاءة العامة

### ٥ – تخطيط الإضـاءة

يتوقف تخطيط الإضـاءة على تحديد عدد وحجم وتوزيع مصـادر الإضـاءة. وتستخدم في هذا الشأن القيم الموصى بها في المواصفات DIN 5053.

تمرينات

٦١ – ١ احسب طول موجة الأشعة الضوئية الخضراء بواسطة الصيغة الرياضية التالية:

طول الموجة $(mm) = \frac{300\,000\,000\,000 mm/s}{f}$ إذا كان التردد f للأشعة الضوئية الخضراء $= 5{,}7 \cdot 10^{14}$ Hz.

٦١ – ٢ ما هو مدى أطوال الموجات المناظرة للأشعة الضوئية الحمراء والزرقاء باستخدام العلاقة السابقة؟

٦١ – ٣ من معطيات جدول التدفق الضوئي للمصابيح المتوهجة ذات الفتيلة البسيطة: أ) 40 W ب) 60 W ج) 100 W د) 300 W هـ) 500 W و) 1000 W، إحسب كفاية مصدر الإضاءة (lm/W). ارسم منحنيا بيانيا: أفقيا، قيمة الحمل 10 W ≙ 1 mm، ورأسيا 2 lm/W ≙ 1 mm.

٦١ – ٤ احسب بواسطة جدول التدفق الضوئي (القيم المتوسطة) كفاية مصدر الإضاءة للمصابيح الفلورية: أ) 10 W ب) 16 W ج) 20 W د) 25 W هـ) 40 W و) 65 W.

**التدفق الضوئي والقدرة المأخوذة**

| التدفق الضوئي (lm) | | مصدر الإضاءة | | التدفق الضوئي (lm) | مصدر الإضاءة | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 400 | مملوء بالغاز | 40 W | مصباح ذو فتيلة مزدوجة 220 V (D) | 120 مملوء | 15 W | مصباح ذو فتيلة بسيطة 220 V |
| 730 | | 60 W | | 220 بالهواء | 25 W | |
| 950 | | 75 W | | 320 مملوء | 40 W | |
| 1380 | | 100 W | | 610 بالغاز | 60 W | |
| | | | | " 800 | 75 W | |
| 350... 400 | بدون ملف خانق | 10 W | مصابيح فلورية عند 5000 h عمر تشغيل | " 1 250 | 100 W | |
| 680... 780 | | 16 W | | " 2 100 | 150 W | |
| 750... 950 | | 20 W | | " 2 950 | 200 W | |
| 1100...1300 | | 25 W | | " 4 800 | 300 W | |
| 1600...1850 | | 40 W | | " 8 300 | 500 W | |
| 4 000 | | 65 W | | " 18 500 | 1000 W | |

٦١ – ٥ احسب شدة الإضاءة E.

| | أ | ب | ج |
|---|---|---|---|
| المكان | قاعة مدرسة | مطبخ | مكان تخزين |
| السطح المستخدم A (m²) | 75 | 16 | 30 |
| الكفاية | 0,35 | 40% | 0,35 |
| التدفق الضوئي $\Phi_1$ (لومن) | 18 000 | 1250 | 8 000 |

| | د | هـ | و |
|---|---|---|---|
| المكان | غرفة معيشة | ممر | ورشة |
| السطح المستخدم A (m²) | 20 | 150 | 80 |
| الكفاية | 0,3 | 25% | 0,2 |
| التدفق الضوئي $\Phi_1$ (لومن) | 3 600 | 18 000 | 24 000 |

(السطح المستخدم = المساحة المضاءة على ارتفاع متر واحد فوق الأرضية).

٦١ – ٦ أضيء سطح كبير مساحته 3 m² بواسطة مصباح فلوري 1200 lm بكفاية 25%.

احسب: أ) شدة الإضاءة ب) القدرة المستخدمة بالواط لكل m² من السطح المستخدم، إذا بلغت قيمة الحمل للمصباح 31 W.

٦١ – ٧ يراد الحصول على إضاءة عامة شدتها 120 lx بكفاية 25%، لورشة ميكانيكية كبيرة مساحتها 150 m² خصصت لذلك مصابيح فلورية ذات 1800 lm و 40 W احسب:

أ) عدد المصابيح ب) القدرة المطلوبة بالواط لكل m² من السطح المستخدم.

٦١ – ٨ يراد إضاءة صالة حياكة، ذات سطح مستخدم مساحته 300 m²، بشدة إضاءة 400 lx وبكفاية 30%. والمطلوب وضع تخطيط لنظام الاضاءة: ا) بمصابيح متوهجة 220 V/1000 W ب) بمصابيح فلورية 220 V/65 W.

احسب في كل حالة: ١ – عدد المصابيح ٢ – قيمة الحمل المجموعة بالكيلوواط ٣ – الواط لكل m² ٤ – شدة التيار في خط التغذية.

٦١ – ٩ تضاء حجرة مكتب كبيرة مساحتها 80 m² حاليا بواسطة 8 مصابيح متوهجة 200 W بكفاية 40%. ويراد استبدال مجموعة الإضاءة بمصابيح فلورية 40 W بنفس قيمة الحمل الحالية. احسب شدة الإضاءة: أ) قبل الاستبدال ب) بعد استبدال مجموعة الإضاءة.

٦١ – ١٠ يراد إضاءة ورشة أجهزة لاسلكية، ذات سطح مستخدم مساحته 50 m²، بشدة إضاءة 500 lx وبكفاية 40% بواسطة مصابيح فلورية 220 V/65 W.

احسب: أ) عدد المصابيح اللازمة ب) ما قيمة الحمل بالكيلوواط؟

٦١ – ١١ يراد إضاءة صالة تجميع كبيرة، ذات سطح مستخدم 20 m × 80 m، بمصابيح فلورية، بحيث تكون شدة الإضاءة كافية للقيام بالعمل الدقيق بالصالة. أ) ما هي الكفاية التي يجب اختيارها للإضاءة المباشرة؟ ب) ما هي شدة الإضاءة المطلوبة؟ ج) كم مصباحا فلوريا 220 V/65 W يجب تركيبه.

٦١ – ١٢ احسب باستخدام قيم الجدول (صفحتي ١٤٨، ١٤٩) العدد اللازم من المصابيح الفلورية 40 W لإضاءة حجرة دراسة كبيرة أبعادها 8 m × 16 m ذات سطوح محيطة زاهية اللون بإضاءة منتظمة قدر الإمكان.

٦١ – ١٣ طلبت إضاءة ذات تأثير مباشر فوق منضدة عمل، لعمل عالي الدقة، تضيء بكفاية افتراضية قدرها 0,4 مساحة الشغل الكبيرة البالغة 2,5 m² بشدة إضاءة 1000 lx.

احسب: أ) عدد المصابيح الفلورية من نمط 220 V/40 W التي يلزم تركيبها ب) الاستهلاك بالواط لكل m² من سطح المنضدة؟

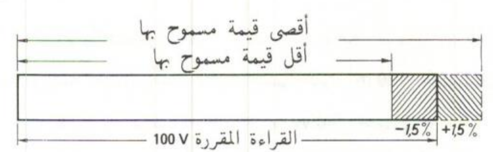
٦١ – ١٤ زودت غرفة معيشة، ذات مساحة أرضية قدرها 32 m² وذات سقف أبيض وجدران فاتحة اللون بثمانية مصابيح متوهجة ذات فتيلة مزدوجة 220 V/40 W (D).

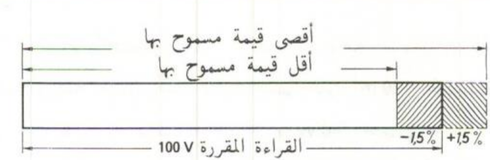
أ) احسب شدة الإضاءة المتوسطة E (lx) ب) هل شدة الإضاءة كافية؟

٦١ – ١٥ يضاء دهليز مسكن طوله 10 m وعرضه 2 m بكفاية 0,35، بمصابيح متوهجة ذات فتيلة مزدوجة 60 W (D).

أ) ما مقدار شدة الإضاءة؟ ب) كم مصباحا متوهجا 60 W يلزم تركيبها للحصول على شدة الإضاءة الموصى بها؟

## دقة القياس — خطأ القياس



تقسم رتب أجهزة القياس وفقا لدقتها إلى سبع درجات. وتضاف النسبة المئوية لخطأ القراءة، المنتمية إلى رتبة ما، إلى القيمة النهائية لدقة القياس (الإنحراف التام). وعلى ذلك تزداد دقة القياس كلما استقر المؤشر عند زاوية تدريج أكبر. ويكون خطأ القراءة في وسط مجال القياس مساويا لضعف الرتبة المعطاة لجهاز القياس.

ملاحظة: للحصول على قياسات دقيقة، يختار مجال القياس، بحيث تقع القراءة في الثلث الأخير من التدريج (أكبر زاوية تدريج).

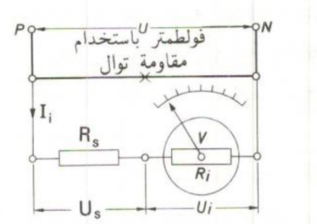
التقسيم طبقا لرتبة أجهزة القياس الكهربائية: VDE 0140

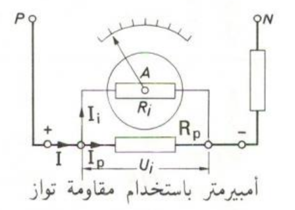
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| أجهزة القياس الدقيقة | | | | |
| الرتبة | 0,1 | 0,2 | 0,5 | |
| خطأ القياس | ±0,1% | ±0,2% | ±0,5% | |
| أجهزة القياس العملية بالورشة | | | | |
| الرتبة | 1 | 1,5 | 2,5 | 5 |
| خطأ القياس | ±1% | ±1,5% | ±2,5% | ±5% |

## زيادة مدى القياس باستخدام المقاومات

يمكن إيجاد القيم الكهربائية المميزة لمجموعة القياس باستخدام قانون أوم، لأن مجموعة القياس في الأمبيرمتر والڤولطمتر، ذات مقاومة داخلية قدرها $R_i$، تحتاج إلى تيار القياس $I_i$، وإلى جهد مجموعة القياس $U_i$ للانحراف التام إلى قيمة نهاية التدريج. ويزاد مجال القياس، بواسطة مقاومات توال أو مجزئات تيار توصّل بمجموعة القياس. $I_i$ و $U_i$ و $R_i$ = قيم مجموعة القياس عند وضع المؤشر على قيمة التدريج، $U_s$ = هبوط الجهد على مقاومة التوالي عند $I_i$ و $R_s$ = مقاومة التوالي، $R_{ch}$ = المقاومة الخصائصية لجهاز القياس، بالأوم لكل ڤولط (Ω/V) و U = مجال قياس الجهد.

$I_i$ و $U_i$ و $R_i$ = قيم مجموعة القياس، عند وضع المؤشر على قيمة نهاية التدريج، $I_p=I-I_i$ = تيار السكون خلال مجزئ التيار (مقاومة التوازي) $R_p$ و I = مجال قياس التيار المرغوب فيه و $P_p$ = مقدرة التحميل للمقاومة $R_p$، عندما يكون: $I>>I_i$ (I أكبر كثيرا من $I_i$)




القياس المباشر للجهد — فولطمتر

القياس المباشر للتيار — أمبيرمتر

$$R_s=\frac{U_s}{I_i}$$
$$R_s=R_{ch}(U-U_i)$$
$$R_s=R_{ch}\cdot U-R_i$$
$$R_p=\frac{U_i}{I_p}$$
$$\frac{R_p}{R_i}=\frac{I_i}{I_p}$$
$$P_p=I^2\cdot R_p$$

## محولات القياس

هي محولات ذات نسب تحويل دقيقة. وتسمى نسبة التحويل بها «ثابت المحول». وتحسب نتيجة القياس بضرب قيمة القراءة (قيمة القياس) في ثابت المحول.

### محول قياس الجهد

مثال: إذا بيّن ڤولطمتر مجال قياسه 100 V، موصل على محول قياس 6 000/100، القراءة 80 V، ما مقدار نتيجة القياس؟

الثابت: $\frac{6\,000}{100}=60$

نتيجة القياس: الثابت × قيمة القراءة

$U=60\cdot 80\ V=4\,800\ V$

### محول قياس التيار

مثال: إذا بيّن أمبيرمتر مجال قياسه 5 A، موصل على محول قياس 50/5، القراءة 3 A، ما مقدار نتيجة القياس؟

الثابت: $\frac{50}{5}=10$

نتيجة القياس: الثابت × قيمة القراءة

$I=10\cdot 3\ A=30\ A$

تمرينات :

٦٢ — ١ ڤولطمتر مجال قياسه 100 V ورتبته 1,5 . احسب : أ) خطأ القياس بالڤولط (V) ب) اكبر قراءة وأصغر قراءة مسموح بها لجهد قدره 100 V ج) الخطأ النسبي (في المائة) لقيمة قراءة مقرَّرة قدرها 15 V .

الحل :

أ ) 1,5% ± من 100 V = ±1,5 V

ب) 101,5 V = 100 V + 1,5 V

98,5 V = 100 V − 1,5 V

ج) 1,5 V بالنسبة إلى 15 V ≙ $\frac{1}{10}$ = 10% .

الخطأ النسبي عند 15 V = ± 10% .

٦٢ - ٢ يبيِّن أمبيرمتر مجال قياسه 6 A القراءة 5,9 A كقيمة فعلية بينما يعطي جهاز المعايرة المستخدم في نفس الوقت 6 A كقيمة حقيقية . عيِّن لهذا الخطأ في القراءة : أ) النسبة المئوية من القيمة النهائية لمجال القياس ب) هل الخطأ سالب أم موجب؟

٦٢ - ٣ احسب أكبر خطأ محتمل في القراءة والنسبة المئوية للخطأ منسوبا إلى قيمة القياس المعطاة بالجدول .

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الرتبة | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1 | 2,5 | 5 |
| مجال القياس | 1 A | 6 V | 500 V | 250 V | 5 A | 10 A |
| قيمة القياس | 0,45 A | 3,5 V | 130 V | 85 V | 5 A | 7,8 A |

٦٢ - ٤ إحسب لڤولطمتر رتبته 1,5 ومجال قياسه 400 V :

أ ) الخطأ المسموح به في القراءة بالڤولط (V) منسوبا إلى القيمة النهائية لمدى القياس .

ب) خطأ القراءة المسموح به في المائة منسوبا إلى قيم التدريج :

١ - 200 V   ٢ - 100 V   ٣ - 50 V

٤ - 25 V   ٥ - 12,5 V   ٦ - 6,25 V

دوّن أخطاء القراءة المحسوبة في الجزء (ب) بمقياس الرسم 1% ≙ 1 mm ، على التدريج المحتوي على 400 قسم تدريج (مقياس الرسم : 0,5 قسم تدريج ≙ 1 mm) . أرسم المنحنى ، وبيّن رأيك فيه .

٦٢ — ٥ يلزم للانحراف التام بملي أمبيرمتر ذي مقاومة داخلية $R_i = 60\,\Omega$ ، تيار $I_i = 2$ mA . ويراد بواسطة مجزّئات تيار زيادة مجال القياس إلى : أ) 0,1 A ب) 0,6 A ج) 2,5 A د) 10 A هـ) 40 A .

ارسم دائرة التوازي ودوّن قيم الحساب ثُم احسب مقادير المقاومات .

٦٢ — ٦ يلزم تيار شدته 2 mA عند جهد قدره 30 mV للانحراف التام لمجموعة القياس بڤولطمتر . ويراد زيادة مجال القياس إلى : أ) 6 V ب) 40 V ج) 150 V د) 250 V هـ) 400 V ارسم الدائرة ، ودوّن قيم الحساب ، ثُم احسب المقاومات الموصلة على التوالي .

٦٢ - ٧ يراد زيادة مجال القياس بڤولطمتر مجال قياسه 50 V ومقاومته الداخلية 1000 Ω ، إلى : أ) 100 V ب) 250 V ج) 400 V . عيِّن المقاومات اللازم توصيلها على التوالي .

٦٢ — ٨ يراد زيادة مجال القياس بجهاز أمبيرمتر مجال قياسه 1 A ومقاومته الداخلية 0,1 Ω ، إلى : أ) 2,5 A ب) 4 A ج) 6 A د) 10 A . احسب قيم مقاومات مجزِّئ التيار .

٦٢ — ٩ وصلت المقاومتان : $R_1 = 10$ kΩ و $R_2 = 10$ kΩ على التوالي ، على جهد الشبكة الثابت 220 V . ويراد بواسطة ڤولطمتر مقاومته $R_i = 40$ kΩ ، اختبار الجهد $U_1$ ثم الجهد $U_2$ . فما هما قراءتا القياس الناتجتان ؟ ما هي النتيجة المستفادة ؟

٦٢ — ١٠ تبلغ مقاومة مجموعة القياس بأمبيرمتر ، بما فيها مقاومة توال لا تعتمد على درجة الحرارة ، 25 Ω ويبلغ الإنحراف النهائي له 3 mA . ما مقدار مقاومة مجزِّئ التيار اللازم لزيادة مجال القياس إلى 400 mA؟

٦٢ — ١١ يراد استخدام ڤولطمتر ذي ملف متحرك مجال قياسه 80 mV ، ومقاومة مجموعة القياس به 20 Ω ، للقياس حتى 500 V . احسب : أ) مقدار مقاومة التوالي التي يجب استخدامها ب) القدرة المفقودة بها ؟

٦٢ — ١٢ أعطيت في ڤولطمتر النسبة : أوم لكل ڤولط ، كمقاومة مميِّزة 100 Ω/V . عند أية قيمة للتيار الداخلي (mA) للڤولطمتر يحدث الإنحراف النهائي ؟

٦٢ — ١٣ في جهاز ڤولطمتر جيد ، أعطيت المقاومة المميِّزة بالمقدار 20 kΩ/V . كم يبلغ التيار الداخلي بالملي أمبير (mA) ؟

٦٢ — ١٤ يبين ڤولطمتر عند توصيله على الشبكة القراءة 225 V وعند إدخال مقاومة $R_s = 50$ kΩ على التوالي تنخفض قراءة القياس إلى 150 V . احسب المقاومة الداخلية للڤولطمتر .

٦٢ - ١٥ مجموعة قياس : $R_i = 60\,\Omega$ و $R_{ch} = 300\,\Omega/V$ يراد زيادة مجال القياس بها إلى 250 V بواسطة مقاومة توال . إحسب $R_s$ .

٦٢ — ١٦ تبلغ المقاومة المميِّزة لجهاز قياس 500 Ω/V . ويحدث الإنحراف التام بهذا الجهاز عند 200 mV . احسب : أ) المقاومة الداخلية لمجموعة القياس ب) التيار I اللازم للانحراف التام .

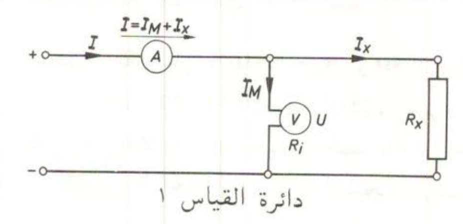
٦٢ — ١٧ وصّل ڤولطمتر مجال قياسه 100 V على محوِّل قياس 3 000/100 . احسب : أ) ثابت المحول ب) الجهود على الجانب ذي الجهد العالي للقراءات (قيم القياس) التالية : ١) 60 V ٢) 75 V ٣) 844 V ٤) 92 V ٥) 95 V .

٦٢ — ١٨ وصّل أمبيرمتر مجال قياسه 5 A : على محول قياس للتيار 300/5 . ما هي القيم التي يبيّنها عند تيار إبتدائي قدره : أ) 270 A ب) 210 A ج) 150 A د) 90 A هـ) 72 A و) 48 A .

٦٢ — ١٩ يبيِّن أمبيرمتر متصل بمحول قياس للتيار 500/5 قراءة التيار 3,5 A . ما هي نتيجة القياس ؟

٦٢ — ٢٠ بيانات الجانب الثانوي لعدّاد هي (100 V/5 A) وبه محوِّل قياس . وصل العداد بجهد عال عبر محول قياس جهد 25 000/100 ، ومحول قياس تيار 75/5 على جهد عال . احسب ثابت العداد .

## دائرة القياس لحساب المقاومات الصغيرة




دائرة القياس ١

$R_x$ = المقاومة المجهولة
$I$ = قراءة التيار على الأمبيرمتر
$I_M$ = التيار في ملف مجموعة القياس بجهاز الفولطمتر
$I_x$ = تيار القياس في المقاومة المراد حسابها
$R_i$ = المقاومة الداخلية للفولطمتر
$U$ = قراءة الجهد على الفولطمتر.

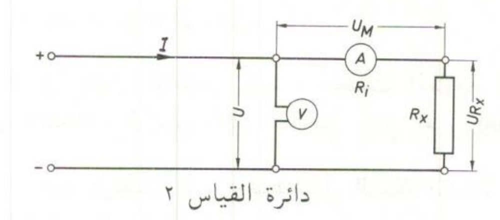
يوصل الأمبيرمتر في دائرة التيار على التوالي ويوصل الفولطمتر على أطراف المقاومة المراد حسابها $R_x$، مباشرة. لا يقيس الأمبيرمتر تيار القياس $I_x$ المار خلال $R_x$ فحسب، وإنما التيار في الفولطمتر $I_M$ أيضا. ويقل خطأ القياس الناشئ عن ذلك كلما كان الفولطمتر ذا أومية أعلى (استهلاك ذاتي منخفض) وكلما صغرت $R_x$. فإذا كانت $R_x$ صغيرة بالنسبة إلى $R_i$، فإن قانون أوم يطبَّق مباشرة كما يلي:

$$R_x = \frac{U}{I}$$

وتطبق الصيغتان التاليتان عند أخذ الفقد الذاتي في الاعتبار:

$$R_x = \frac{U}{I - I_M}$$ أو $$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_i}}$$

## دائرة القياس لحساب المقاومات الكبيرة




دائرة القياس ٢

$R_x$ = المقاومة المجهولة
$I$ = قراءة التيار على الأمبيرمتر
$U$ = قراءة الجهد على الفولطمتر
$R_i$ = المقاومة الداخلية للأمبيرمتر
$U_M$ = هبوط الجهد في الأمبيرمتر
$U_{Rx}$ = هبوط الجهد في المقاومة المراد حسابها.

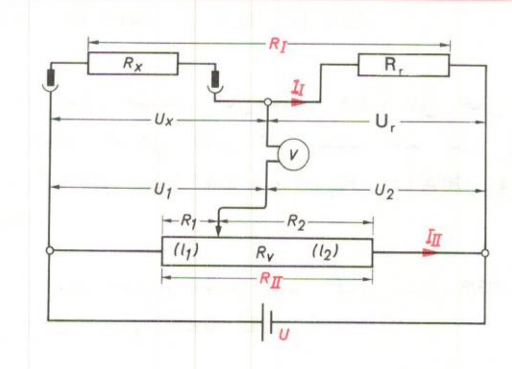
يوصل الأمبيرمتر على التوالي مع $R_x$، ويوصل الفولطمتر على التوازي مع اتصال التوالي المكون من $R_i$ للأمبيرمتر والمقاومة $R_x$ ويقيس مجموع هبوطي الجهد $U_M$ و $U_{Rx}$. يبين الأمبيرمتر القيمة الصحيحة، في حين يبين الفولطمتر جهدًا أعلى بمقدار هبوط الجهد $U_M$ ويقل خطأ القياس كلما كان الأمبيرمتر ذا أومية منخفضة وكلما كبرت $R_x$. فإذا كانت $R_x$ كبيرة بالنسبة إلى $R_i$، عندئذ يطبق:

$$R_x = \frac{U}{I}$$

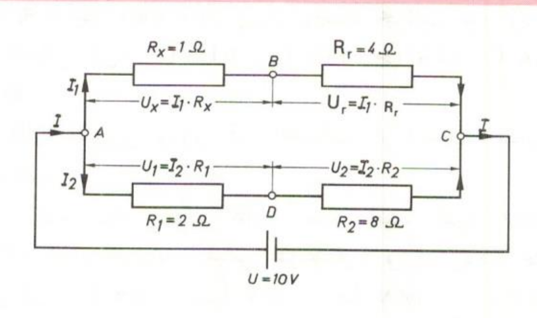
وتطبق الصيغتان التاليتان عند أخذ الفقد الذاتي في الاعتبار:

$$R_x = \frac{U - U_M}{I}$$ أو $$R_x = \frac{U - (I \cdot R_i)}{I}$$

## القياس الدقيق للمقاومات بواسطة قنطرة المقاومات




$R_x$ = مقاومة مجهولة
$R_r$ = مقاومة عيارية (مقاومة مقارنة)
$R_v$ = مقاومة متغيرة، كمجزئ للجهد




$R_1$ و $R_2$ = المقاومتين الجزئيتين للمقاومة المتغيرة

يوصل الفولطمتر كقنطرة (بين $R_I$ و $R_{II}$). إذا كانت $R_1$ و $R_2$ مقاومتين سلكيتين، فيمكن التعويض بأطوال السلك من الصيغة: $R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_r$

تمرينات

٦٣ — ١ عند قياس قيمة مقاومة أومية صغيرة بواسطة دائرة القياس (١) (صفحة ١٥٢) بيّن الڤولطمتر 10 V وبيّن الأمبيرمتر 20 mA ، ويبلغ تيار تركيبة القياس للڤولطمتر 4 mA . احسب $R_x$ : أ) بقانون أوم ب) بأخذ الاستهلاك الذاتي في الاعتبار .

الحل :

أ) (طريقة تقريبية) $R_x = \frac{U}{I} = \frac{10\,V}{0{,}020\,A} = \underline{500\,\Omega}$

ب) $R_x = \frac{U}{I - I_M} = \frac{10\,V}{0{,}020\,A - 0{,}004\,A} = \underline{625\,\Omega}$

٦٣ - ٢ ما مقدار الإنحراف عن القيمة الحقيقية للمقاومة في المائة في طريقة حل الجزء (أ) من المسألة السابقة .

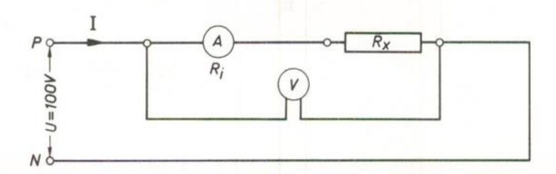
الحل :

الإنحراف بالأوم : $625\,\Omega - 500\,\Omega = 125\,\Omega$

الإنحراف في المائة : $\frac{100\% \cdot 125\,\Omega}{625\,\Omega} = \underline{20\%}$

٦٣ — ٣ بيّن الڤولطمتر في دائرة القياس للمقاومات الصغيرة 15 V وبيّن الأمبيرمتر 25 mA . فإذا أعطيت المقاومة الداخلية للڤولطمتر بالقيمة 5000 Ω . عيّن : أ) $R_x$ باعتبار الاستهلاك الذاتي مرة وبإهماله مرة أخرى .
ب) الإنحراف بالأوم وبالنسبة المئوية .

٦٣ — ٤ اختبرت المقاومتان : $R_1 = 10\,k\Omega$ و $R_2 = 100\,\Omega$ بواسطة دائرة القياس المبينة بالرسم والمكونة من منبع للجهد المستمر 100 V وأمبيرمتر ذي ملف متحرك مجال قياسه : 0 . . . 2 A أو 0 . . . 25 mA




وڤولطمترات ذات مقاومات معلومة 100 Ω/V, 500 Ω/V, 1000 Ω/V ومجال القياس بكل منها من 0 V إلى 130 V فأعطت القياسات القيم الواردة بالجدول الآتي . احسب القيم الناقصة بالجدول مستعملا الصيغ الموضحة :

احسب :

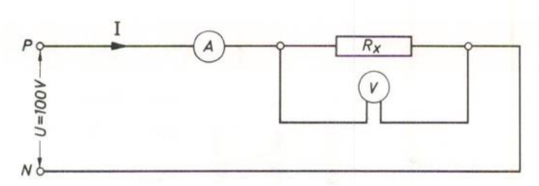
| $R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_i}}$ | $R_x = \frac{U}{I}$ | I | U | $R_{ch}$ | R |
|---|---|---|---|---|---|
| ? | ? | 20 mA | 100 V | 100 Ω/V | 10 kΩ |
| ? | ? | 12 mA | 100 V | 500 Ω/V | |
| ? | ? | 11 mA | 100 V | 1000 Ω/V | |
| ? | ? | 1,010 A | 100 V | 100 Ω/V | 100 Ω |
| ? | ? | 1,002 A | 100 V | 500 Ω/V | |
| ? | ? | 1,001 A | 100 V | 1000 Ω/V | |

احسب : أ) المقاومة الداخلية للڤولطمتر من معطيات المقاومة الخصائصية $R_{ch}$ ب) المقاومة $R_x$ باعتبار الفقد الذاتي مرة وبإهماله مرة أخرى ج) الإنحراف في المائة عن قيمة المقاومة الحقيقية . د) دوّن ملاحظاتك عن الڤولطمتر وخطأ القياس وقيمة المقاومة .

٦٣ — ٥ المطلوب قياس قيمة مقاومة أومية كبيرة باستخدام دائرة القياس (٢) (صفحة ١٥٢) . فإذا بينّت أجهزة القياس : 5 V و 2,5 mA وبلغ هبوط الجهد على الأمبيرمتر 0,4 V .
أ ) احسب $R_x$ بالتصحيح وبدونه .
ب) ما مقدار الإنحراف في المائة مع إهمال الاستهلاك الذاتي؟

٦٣ — ٦ في دائرة قياس للمقاومات الكبيرة كانت I = 200 mA و U = 100 V والمقاومة الداخلية للأمبيرمتر $R_i = 20\,\Omega$ . احسب المقاومة المجهولة $R_x$ .

٦٣ — ٧ اختبرت المقاومتان $R_1 = 10\,k\Omega$ و $R_2 = 100\,\Omega$ بواسطة دائرة القياس المبينة بالرسم المكونة من :




منبع للجهد المستمر 100 V وڤولطمتر ذي ملف متحرك مجال قياسه : من 0 V إلى 130 V وأمبيرمتر مقاومته الداخلية $R_i = 20\,\Omega$ وأمبيرمتر مقاومته الداخلية $R_i = 50\,\Omega$ فأعطت القياسات القيم التالية :

| $R_x = \frac{U - I \cdot R_i}{I}$ | $R_x = \frac{U}{I}$ | $R_i$ | I | U | R |
|---|---|---|---|---|---|
| ? | ? | 20 Ω | 9,98 mA | 100 V | 10 kΩ |
| ? | ? | 50 Ω | 9,95 mA | 100 V | 10 kΩ |
| ? | ? | 20 Ω | 0,833 A | 100 V | 100 Ω |
| ? | ? | 50 Ω | 0,666 A | 100 V | 100 Ω |

احسب : أ) المقاومة $R_x$ بالتصحيح وبدونه ب) الانحراف (%) ج) دوّن ملاحظاتك عن كل من الڤولطمتر وخطأ القياس وقيمة المقاومة؟

٦٣ — ٨ بالإستعانة بالرسم التخطيطي المكافئ لقنطرة القياس (صفحة ١٥٢) استنتج الصيغة الرياضية للقنطرة .

٦٣ — ٩ في قنطرة لقياس المقاومة ذات سلك منزلق طوله 1000 mm توقف مؤشر الڤولطمتر عند الصفر ، عند تقسيم سلك القياس بالنسبة : $(l_1 : l_2 = 700 : 300)$ فإذا كانت قيمة المقاومة العيارية 60 Ω . ما مقدار $R_x$ ؟

٦٣ — ١٠ أعيد الإتزان لقنطرة قياس ذات سلك طوله 1000 mm ، عندما كانت : $l_1 = 80$ cm ، بواسطة $R_r = 20\,\Omega$ . احسب المقاومة المجهولة $R_x$ .

٦٤ — ١١ قنطرة قياس ذات سلك منزلق بياناتها كالتالي : طول السلك l = 1 cm ومقاومتها العيارية $R_r = 24\,\Omega$ ومقاومتها المجهولة $R_x = 6\,\Omega$ . ما مقدار نسبة القنطرة عند الاتزان؟

٦٣ — ١٢ احسب موضع الطرف المنزلق لقنطرة طولها 1 m ، إذا وصّلت مقاومة عيارية $R_r = 42\,\Omega$ مع مقاومة $R_x = 98\,\Omega$ في القنطرة .

٦٣ — ١٣ أستبدل السلك المنزلق في قنطرة قياس بمقاومة متغيرة $R_v = 100\,\Omega$ وأعيد التوازن للقنطرة عند $R_1 = 30\,\Omega$ بواسطة المقاومة $R_r = 42\,\Omega$ . احسب $R_x$ .

## مساحة اللوح - تيار اللوح

تعتمد مساحة سطح التقويم على تيار الفرع $I_b$ وعلى القدرة النوعية للتحميل (كثافة التيار المسموح بها لكل وحدة مساحة) $(A/cm^2)$.

$$A = \frac{I_b}{S} \quad cm^2$$

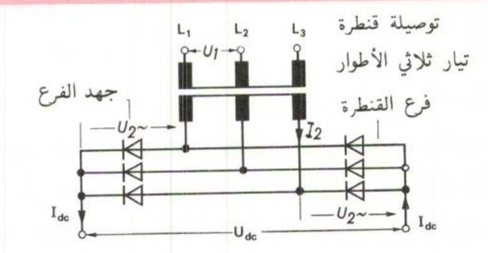
A = المساحة اللازمة للوح $(cm^2)$

S = كثافة التيار $(A/cm^2)$

وتعتمد كثافة التيار S إلى حد كبير على نوعية اللوح وشروط التبريد وزمن التحميل (انظر الجدول).

| نوع المقوم | $Cu_2O$ | Se | Ge | Si |
|---|---|---|---|---|
| جهد الحجز الفعال (~ U) | 6 | 25 | 110 | 380 |
| كثافة التيار $S\ (A/cm^2)$ في حالة: | | | | |
| التهوية الذاتية | 0,04 | 0,07 | 40 | 80 |
| التهوية الجبرية | 0,14 | 0,2 | 100 | 280 |

## عدد الألواح لكل فرع




ملاحظة: «جهد الحجز الإسمي»:

أ) في خلايا $Cu_2O$ و Se: يقصد به القيمة الفعالة للجهد المتردد.

ب) في خلايا Ge و Si: يقصد به القيمة العظمى للجهد المتردد.

ويجب في حالة التحميل بجهد مضاد (مثل مركم أو مكثف أو مولد تيار مستمر) التعويض بنصف قيمة جهد الحجز الإسمي.

ج) فرع القنطرة ويقصد به جزء من دائرة المقوم بين أحد أطراف الجهد المتردد وأحد أطراف الجهد المستمر.

د) جهد الفرع $U_2$~: هو القيمة الفعالة لجهد التوصيل الموصل على خلية المقوم في اتجاه الحجز.

هـ) $U_{dc}$ = القيمة المتوسطة للجهد المستمر عند الدائرة المفتوحة

$I_{dc}$ = القيمة المتوسطة للتيار المستمر النابض.

عدد الألواح لكل فرع للقنطرة:

$$n_p = \frac{U_2\sim}{U_{inv}}$$

$U_{inv}$ = جهد الحجز الإسمي لكل خلية

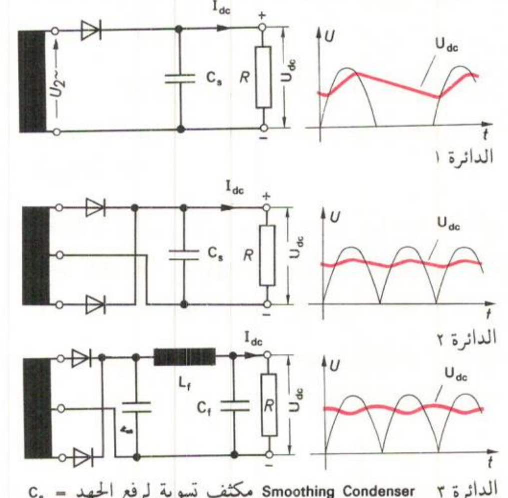
العدد الكلي لألواح الدائرة:

$$n = n_b \cdot n_p$$

$n_b$ = عدد فروع القنطرة

## تسوية (تنعيم) التموج لمنحنى التيار المقوم والجهد المقوم مع الزمن

تجهيزات تسوية التموج في التقويم الأحادي الطور لتقليل الجزء المتردد في الجهد المستمر.




الدائرة ١

الدائرة ٢

الدائرة ٣

$C_s$ = مكثف تسوية لرفع الجهد Smoothing Condenser

$L_f$ = ملف خانق مرشح Filter Coil

$C_f$ = مكثف مرشح Filter Condenser

يسبب التيار العام (المكون من تيار مستمر وتيار متردد متراكب عليه) هبوط جهد حثي عبر الملفات، وطنينا في أجهزة إرسال الصوت. وعلاج هذا التراكب:

**في الدائرة (١) تقويم نصف الموجة:** للمتطلبات الضئيلة للتموج يكفي توصيل مكثف تسوية $C_s$ على التوازي مع المقاومة R ويمكن تعيين $C_s$ بتقريب دقيق طبقا للصيغة الرياضية:

$$C_s = 4{,}5 \cdot \frac{I_{dc}}{U_{eff}} \quad \mu F$$

$U_{eff}(V)$ = القيمة الفعالة للجهد المتردد المتراكب،

$I_{dc}$ = التيار المستمر في المقاومة (mA).

**في الدائرة (٢): تقويم الموجة الكاملة:**

$$C_s = 2{,}2 \cdot \frac{I_{dc}}{U_{eff}} \quad \mu F$$

**في الدائرة (٣): مجموعة ترشيح من محاثة L ومكثف C:** يمكن تقليل التموج إلى حد أكبر بواسطة مجموعة ترشيح L–C.

تمرينات

٦٤ — ١ احسب طول ضلع خلية سلنيوم مربعة لتيار قدره 25 A ، بتهوية ذاتية.

٦٤ — ٢ ما مقدار أبعاد خلية السلنيوم في المسألة السابقة في حالة التهوية الجبرية؟

٦٤ — ٣ احسب قطر المساحة الفعالة لخلية $Cu_2O$ :
أ) في حالة التهوية الذاتية.
ب) في حالة التهوية الجبرية لتيار مقداره 3 A .

٦٤ — ٤ يمكن تحميل مقوم سليكون (Si) للتيارات العالية (بتهوية جبرية) بتيار 240 A . ما مقدار قطر ألواح السليكون؟

٦٤ — ٥ احسب طول الجانب لخلية مربعة من السلنيوم لتيار قدره 30 A مستخدم في دائرة تقويم نصف موجة عند التحميل المسموح به $S = 70\ mA/cm^2$ في حالة التهوية الذاتية، $S = 200\ mA/cm^2$ في حالة التهوية الجبرية.

٦٤ — ٦ مقومات من السلنيوم، لها الأبعاد وقيم التشغيل المعطاة في الجدول. احسب كثافة التيار S بوحدة $(A/cm^2)$ للتيارات المستمرة الإسمية المعطاة.

| دائرة المقوم | الجهد المستمر الممكن بلوغه (V) عند جهد التوصيل الإسمي $(U_{eff})$ | التيار المستمر الإسمي (A) لمجموعة ما، عند مساحة لوح $(mm^2)$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | طراز A : 25 V<br>طراز B: 30 V | 18·18 | 40·40 | 80·100 |
| (HW) نصف الموجة | 10 | 0,3 | 1,5 | 5 |
| | 12 | 0,25 | 1,4 | 4,2 |
| (FW) ذات تقويم كامل باستخدام نقطة متوسطة | 10 | 0,6 | 3 | 10 |
| | 12 | 0,5 | 2,8 | 8,5 |

تصلح معطيات التيار المستمر للتبريد الذاتي. أما في حالة التبريد الجبري بالهواء أو بالزيت فيمكن زيادة التحميل إلى ثلاثة أمثال قيمته.

٦٤ - ٧ إذا كان لمقومات السلنيوم المتداولة تجاريا الأبعاد التالية:
أ) 100 mm·200 mm ب) 100 mm·300 mm ج) 200 mm·200 mm
د) 200 mm·400 mm ، فبأي تيار يمكن تحميل المقوم، في حالتي التهوية الذاتية والتهوية الجبرية (الدائرة HW بالمسألة السابقة).

٦٤ — ٨ قطر ألواح مقوم من السلنيوم 75 mm . احسب تيار التحميل، في حالتي التهوية الذاتية والتهوية الجبرية عند مساحة فعالة للألواح قدرها 87% من المساحة الكلية.

٦٤ — ٩ ما مقدار المساحة المؤثرة لمقوم سلنيوم في حالة التهوية الذاتية، والذي يمكن إحلاله محل خلية جرمانيوم (Ge) تحميلها الأقصى يبلغ 40 A؟

٦٤ — ١٠ مقوم سليكون له القيم التالية:
أ) $U_{inv} = 380\ V$ ب) مساحة ألواح السليكون 60 mm² (Si)
ج) تيار التحميل 40 A. احسب القدرة النوعية للتحميل $(A/cm^2)$.

٦٤ — ١١ أعطى تسجيل المنحنى الخصائصي للمقوم OA 85 (صمام جرمانيوم ثنائي (دايود) ذو نقطة تلامس، يبلغ تحميله الأقصى 30 mA) قيم القياس المبينة بالجدول:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_f$ (V) | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 mm ≙ 0,5 V |
| $I_f$ (mA) | 1,2 | 4,5 | 10 | 16 | 22,5 | 5 mm ≙ 1 mA |
| $U_{inv}$ (V) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 10 mm ≙ 10 V |
| $I_{inv}$ (μA) | – | 1,2 | 5 | 10,5 | 18 | 10 mm ≙ 2 μA |

ارسم المنحنى الخصائصي للاتجاه الأمامي واتجاه الحجز. ما تأثير رفع درجة الحرارة من +15°C إلى +70°C على الدايود؟

٦٤ - ١٢ أعطى تسجيل المنحنى الخصائصي للمقوم BA 105 (صمام سليكون ثنائي (دايود) ذو سطح تقويم صغير) قيم القياس المبينة بالجدول:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_f$ (V) | 0,50 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,87 | 10 mm≙0,1 V |
| $I_f$ (mA) | 0,1 | 0,5 | 1,2 | 4,0 | 9,5 | 20,0 | 42 | 84 | 100 | 10 mm≙10 mA |
| $U_{inv}$ = 300 V; | | | | $I_{inv}$ = 1 μA | | | | | | |

ارسم المنحنى الخصائصي لاتجاه التقويم الأمامي وقارن النتائج بالمسألة السابقة.

٦٤ - ١٣ احسب، بالإستعانة بالكميات الخصائصية بالجدول، أقصى تيار تحميل والمقاومة الداخلية لخلايا المقومات التالية: أ) مقوم أكسيد النحاس $Cu_2O$ : 100 mm·300 mm ب) مقوم سلنيوم : 100 mm·300 mm ج) مقوم جرمانيوم : بقطر 5,5 mm د) مقوم سليكوني بقطر 5,5 mm في حالة التهوية الذاتية. قارن بين النتائج، وما هي النتيجة المستفادة؟

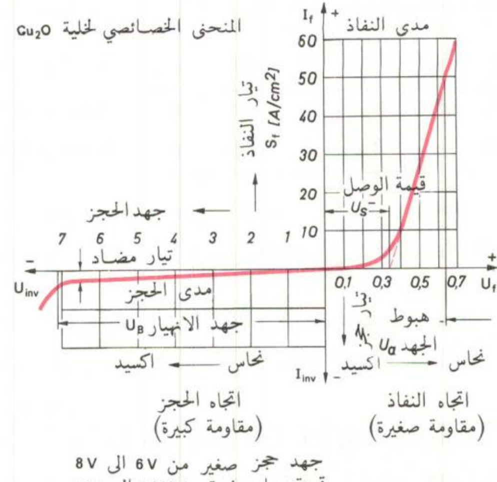
| مقوم ذو طبقة حاجزة (مانعة) من : | $Cu_2O$ | Se | Ge | Si |
|---|---|---|---|---|
| التحميل النوعي للتيار $(A/cm^2)$ مع التهوية الذاتية (دائرة نصف الموجة HW) | 0,04 | 0,07 | 40 | 80 |
| التحميل النوعي للتيار $(A/cm^2)$ مع تهوية جبرية (دائرة HW) | 0,14 | 0,2 | 100 | 200 |
| جهد الحجز الإسمي (V) | 6 | 25 | 110 | 380 |
| درجة حرارة التشغيل القصوى (°C) | 50 | 85 | 75 | 180 |
| كفاية الخلية (%) | 78 | 92 | 98,5 | 99,6 |
| الحجم اللازم لنفس القدرة (Si=1) | 30 | 15 | 3 | 1 |
| جهد الوصل $U_s$ (V) | 0,2 | 0,6 | 0,5 | 0,7 |
| المقاومة الداخلية لخلية $(\Omega \cdot cm^2)$ | 2 | 1,1 | $4 \cdot 10^{-3}$ | $10^{-3}$ |

٦٤ — ١٤ يراد تغذية مقاومة التحميل R، بتيار مستمر قدره: $I_{dc} = 145\ mA$ بواسطة دائرة تقويم نصف موجة عند جهد متردد متراكب قدره 22 V . احسب $C_{ch}$ لمكثف الشحن بوحدة (μF).

٦٤ - ١٥ دوائر مقومات لها قيم التشغيل المدونة بالجدول الآتي. احسب سعة مكثف تنعيم (تسوية) التموج $C_s$ بوحدة (μF).

| | أ | ب | ج | د | هـ | و |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دائرة التقويم | HW | B | B | HW | HW | HW |
| $I_{dc}$ (mA) | 60 | 180 | 18 | 30 | 50 | 50 |
| $U_{eff}$ (V) | 20 | 10 | 6 | 6 | 25 | 10 |

## المنحنى الخصائصي — تعريفات




جهد حجز صغير من 6 V الى 8 V
قيمة وصل صغيرة من 0,2 V الى 0,3 V
$U_B$ = Break down voltage

المقوِّمات متعددة البلَّورات ($Cu_2O$, Se)، وذات البلَّورة الواحدة (Ge, Si) هي صمامات كهربائية، تبدي مقاومة كبيرة في الاتجاه العكسي ومقاومة صغيرة في الاتجاه الأمامي. لذا يمر التيار، عند وصلها بجهد متردد، أثناء نصف الفترة الموجب فقط، وينتج في الحمل المتصل معه على التوالي تيار ذو اتجاه ثابت، أي تيار مستمر. وتتَّضح من المنحنى الخصائصي بعض القيم المطلوبة لحساب مجموعات التقويم.

$U_{inv}$ = **جهد الحجز** ووحدته (V): وهو قيمة الجهد التي يسمح بها بصفة مستديمة. وإذا كان جهد التشغيل أعلى من $U_{inv}$ يجب توصيل عدة صمامات في صف من الألواح على التوالي.

$U_f$ = **جهد النفاذ:** جهد تيار مستمر في اتجاه النفاذ (= الجهد المفقود)

$I_f$ = تيار النفاذ (الأمامي) = التيار الإسمي: هو القيمة المتوسطة لتيار اللوح في دائرة نصف الموجة والمسموح به بصفة مستمرة عند التحميل بمقاومة والتبريد بالهواء.

$U_B$ = **جهد الانهيار:** يحدث الإنهيار عند تعدي الجهد العكسي المسموح به.

$U_s$ = **قيمة جهد الوصل:** مقدار الجهد النافذ (الأمامي) عند الإرتفاع الحاد للمنحنى الخصائصي.

## تعيين الخرج المقدَّر للمحوِّلات

تمثِّل قيم الجداول معاملات التحويل الحسابي التقديري للخرج المقدر للمحول وتعتبر مقياسا للاستغلال المتنوع للمحول في الدوائر المختلفة.

| الدائرة | HW | FW | B | S | DB |
|---|---|---|---|---|---|
| $K_T$ | 3,08 | 1,49 | 1,23 | 1,37 | 1,05 |
| $K_{S1}$ | 2,68 | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,05 |
| $K_{S2}$ | 3,49 | 1,74 | 1,23 | 1,49 | 1,05 |
| $K_U$ | 2,22 | 2,22 | 1,11 | 1,48 | 0,74 |
| $K_I$ | 1,57 | 0,78 | 1,11 | 0,58 | 0,82 |
| K | من 1,10 إلى 1,15 | | التحميل بمقاومة فقط: | | |
| | من 1,15 إلى 1,25 | | التحميل مع جهد عكسي: | | |

معنى معاملات التحويل الحسابي عند التحميل بمقاومة:

$K_T$ : للخرج المقدر للمحولات.
$K_{S1}$ : للقدرة الظاهرية على الجانب الابتدائي
$K_{S2}$ : للقدرة الظاهرية على الجانب الثانوي
$K_U$ : للجهد الثانوي للمحول
$K_I$ : للتيار الثانوي للمحول
K : لموازنة المفقودات في المحول وفي المقوم

مثال:
احسب قيم المحوِّل لجهد مستمر $U_{dc}$=20 V وتيار مستمر $I_{dc}$=4 A لمجموعة مقوِّمات في دائرة قنطرية (دائرة B) لتحميل بمقاومة.

المطلوب:
جهد الدائرة المفتوحة الثانوي: $U_{2\sim}$=? V
التيار الثانوي: $I_2$=? A
قدرة التيار المستمر: P= ? W
الخرج المقدر (القدرة الظاهرية): S=? VA

الحل:
بأخذ القيم من الجدول السابق نجد أن (K) = 1,1 (للتحميل بمقاومة)

$U_{2\sim} = K \cdot K_U \cdot U_{dc} = 1{,}1 \cdot 1{,}11 \cdot 20\ V = 24{,}4\ V$

$I_2 = K_I \cdot I_{dc} = 1{,}11 \cdot 4\ A = 4{,}44\ A$

$P_{dc} = U_{dc} \cdot I_{dc} = 20\ V \cdot 4\ A = 80\ W$

$S = K \cdot K_T \cdot P_{dc} = 1{,}1 \cdot 1{,}23 \cdot 80\ W = \underline{108\ VA}$

القدرة الظاهرية الثانوية تساوي الخرج المقدر للمحول ومقدارها 108 VA.

## نسب الجهود على الحمل في دوائر التقويم FW و B



| نسبة الجهد المستمر (القيمة الحسابية المتوسطة) إلى القيمة العظمى للجهد المتردد عند مدخل المقوم $U_{dc}/\hat{U}\sim = 0{,}64$ | نسبة الجهد المستمر (القيمة الحسابية المتوسطة) إلى القيمة الفعالة للجهد المتردد عند مدخل المقوم $U_{dc}/U\sim = 0{,}9$ |
|---|---|
| التموّج 50% | |

## أنواع الدوائر الأساسية

| الرمز المختصر طبقا لمواصفات DIN 41762 | مخطط التوصيل | $\frac{U_{dc}}{U_2}$ التيار $I_b$ في الفرع | التموّج |
|---|---|---|---|
| دائرة تقويم نصف الموجة HW | | بدون مكثف C: $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}45$ باستخدام مكثف C: $\frac{U_{dc}}{U_2} = 1{,}41$ $I_b \approx I_{dc}$ | w = 120% |
| دائرة تقويم الموجة الكاملة ذات نقطة متوسطة FW | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}45$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{2}$ | w = 50% |
| دائرة تقويم قنطرية (أحادية الطور) B | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}9$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{2}$ | w = 50% |
| دائرة تقويم مضاعفة D | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 2{,}82$ $I_b \approx I_{dc}$ | تعتمد على المكثف C |

| الرمز المختصر طبقا لمواصفات DIN 41762 | مخطط التوصيل | $\frac{U_{dc}}{U_2}$ التيار $I_b$ في الفرع | التموّج |
|---|---|---|---|
| دائرة التقويم النجمية S | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}676$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{3}$ | w = 20% |
| دائرة التقويم القنطرية ثلاثية الأطوار DB | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 1{,}35$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{3}$ | w = 5% |
| دائرة التقويم النجمية المزدوجة DS | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}68$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{6}$ | w = 5% |
| دائرة التقويم النجمية المزدوجة بملف صرف (مفاعل بين الأطوار) DSC | | $\frac{U_{dc}}{U_2} = 0{,}58$ $I_b \approx \frac{I_{dc}}{6}$ | w = 5% |

$U_2$ = القيمة الفعالة للجهد الثانوي المتردد (أكبر جهد للموصل الخارجي)
$U_{dc}$ = القيمة الحسابية المتوسطة للجهد المستمر النبضي في حالة الدائرة المفتوحة.
$I_{dc}$ = القيمة المتوسطة للتيار المستمر الكلي.

تمرينات

٦٥ – ١ احسب عدد الألواح اللازمة لتقويم جهد متردد قدره 120 V ، بواسطة ألواح من : أ) أكسيد النحاس ب) السلنيوم ج) الجرمانيوم . ثم بيّن كيفية توصيل الألواح؟

الحل للجزء (أ) :

عدد الألواح n : (لوحا) $n = \frac{U}{U_{inv}} = \frac{120\ V}{6\ V} \triangleq \underline{\underline{20}}$

٦٥ – ٢ مقوم 60 V/0,4 A مستخدم في دائرة تقويم قنطرية بطور واحد يتكون من ألواح من : أ) السلنيوم ب) أكسيد النحاس $(Cu_2O)$ . احسب :

أ ) عدد الألواح في كل فرع من القنطرة .

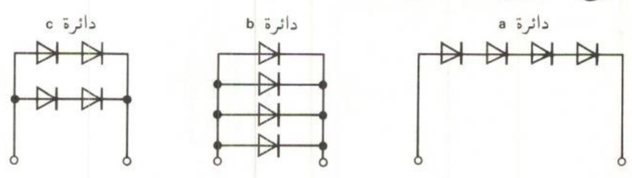
ب) العدد الكلي للألواح في الدائرة القنطرية .

٦٥ – ٣ وصلت أربع خلايا من السلنيوم كل منها 25 V/8 A :

أ) على التوالي ب) على التوازي ج) توصيلا مركبا .

احسب لكل دائرة :

أ) جهد التوصيل $U_2$ ب) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة $U_{dco}$ ج) التيار المستمر $I_{dc}$ عند التحميل بمقاومة (أنظر جدول أنواع الدوائر الأساسية صفحة ١٥٧) .




٦٥ – ٤ أعطى المصنع القيم التالية لخلية مقوم سليكوني : $I = 0{,}1\ A$ و $U_{inv} = 50\ V$ . احسب لدائرة تقويم نصف الموجة ولدائرة تقويم الموجة الكاملة ولدائرة التقويم القنطرية ما يلي : أ) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة ب) التيار المستمر الممكن سحبه عند التحميل بمقاومة .

٦٥ – ٥ تستخدم أربع من خلايا مقوم سليكوني في دائرة قنطرية (B) والقيم الإسمية لكل خلية هي : (300 V/2 A) . احسب للتحميل بمقاومة : أ) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة (بدون حمل) ب) التيار المستمر ج) جهد التوصيل د) الخرج المقدر للمحول ه) الجهد المستمر عند التحميل في حالة هبوط جهد قدره 1,5 V على كل خلية سليكونية

و) قدرة مجموعة المقوم المعطاة عند التحميل الكامل .

٦٥ – ٦ يتكون عمود مقوم من 8 خلايا متصلة على التوالي جهد الحجز لكل منها : $U_{inv} = 25\ V$ . وقد أعطيت القدرة النوعية للتحميل بمقدار $70\ mA/cm^2$ . احسب :

أ ) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة (بدون حمل) للعمود $U_{dco}$ .

ب) الجهد الموصل $U_2$

ج) القيمة العظمى للجهد الموصل $U_{2max}$

د ) هبوط الجهد على العمود إذا كان الهبوط لكل خلية $= 0{,}5\ V$

ه ) مساحة الطبقة الحاجزة (المانعة) لتيار تحميل قدره 1,2 A

و ) الفقد في القدرة عند الحمل الكامل

ز ) الخرج المقدر للمحول

ح ) تموج الجهد المستمر عند التشغيل الإسمي .

٦٥ – ٧ وصّلت مجموعة تقويم من السلنيوم كالتالي :

قيم الخلية :

$U_{inv} = 25\ V$

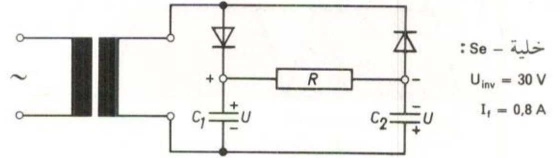
$S = 60\ mA/cm^2$

$A = 50 \cdot 50\ mm^2$

~ $U_2 = 50\ V$ $I_b$ R + –

احسب : أ) التيار الإسمي للخلية ب) تيار الفرع $I_b$ ج) التيار الكلي $I_{dc}$ د) مقدار هبوط الجهد ه) الجهد على المقاومة عند الحمل الكامل و) الخرج المقدر للمحول ز) تموج الجهد المستمر عند التحميل الإسمي ح) مقدار مقاومة الحمل .

٦٥ – ٨ إذا كان المقوم في دائرة تقويم مزدوجة كما هو مبين :




احسب : أ) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة (بدون حمل) ب) هبوط الجهد ج) الجهد المستمر عند التحميل د) القدرة الإسمية للمحول .

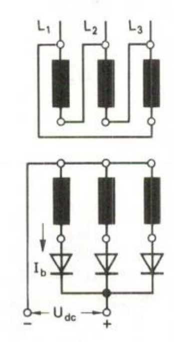
٦٥ – ٩ وصّلت أربعة مقومات في دائرة تقويم قنطرية على جهد متردد $U\sim = 220\ V$ . احسب : أ) القدرة المستهلكة في مقاومة حمل قدرها 60 Ω ب) التيار الإسمي للمقوم الواحد .

٦٥ – ١٠ تتكون مجموعة مقومات من 12 خلية من السلنيوم موصلة على التوالي $(U_{ivn} = 30\ V)$ . لأي جهد حجز إسمي صممت هذه المجموعة :

أ) عند التحميل بمقاومة ب) عند التحميل بمكثف؟

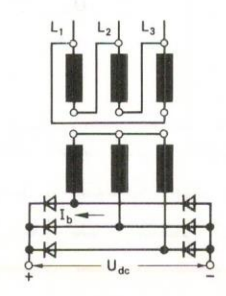
٦٥ – ١١ إذا تم تقويم التيار المتردد ثلاثي الأطوار عبر محول ثلاثي الأطوار نمط Dy 5 بواسطة مقومات HW 25/10 – 2 مستخدمة في دائرة تقويم نصف موجة ثلاثية الأطوار (الدائرة S) . احسب القيم التالية بالدائرة :

أ) جهد الطور ب) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة $U_{dco}$ ج) تيار الفرع $I_b$ د) التيار الإسمي $I_{dc}$ ه) القدرة المستفادة من دائرة التقويم مع إهمال المفقودات و) القدرة الظاهرية للمحول ز) تموج الجهد المستمر عند الحمل الكامل




٦٥ – ١٢ 6 مقومات HW 25/10 – 1,6 مستخدمة في دائرة تقويم قنطرية ثلاثية الأطوار موصلة على محول تيار ثلاثي الأطوار من نمط Dy 5 احسب :

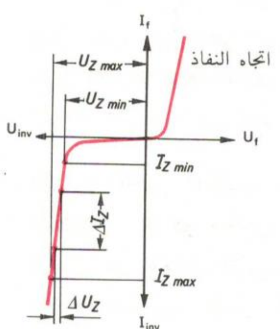
أ) الجهد المستمر للدائرة المفتوحة $U_{dco}$ ب) تيار الفرع $I_b$ ج) التيار الإسمي $I_{dc}$ د) القدرة المستفادة ه) القدرة الظاهرية للمحول و) تموج الجهد المستمر عند التحميل الإسمي ز) جهد الطور الثانوي .

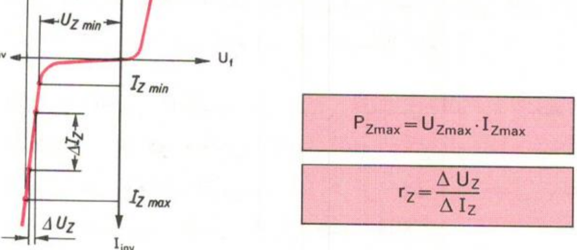


## إتزان الجهد بواسطة دايودات زينر Voltage Stabilisation

تتحقق بعض دوائر إتزان الجهد البسيطة هندسيا بواسطة تيار الإنهيار في الدايود في اتجاه الحجز (العكسي) (ظاهرة زينر).

### المنحنى الخصائصي لدايود زينر (Z-diode).



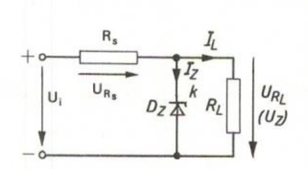



$$P_{Zmax} = U_{Zmax} \cdot I_{Zmax}$$

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

عند $U_{Zmin}$ يزداد تيار الحجز $I_Z$ بقدر كبير جدا. ويتلف دايود زينر إذا تجاوز القيمة $P_{Zmax}$ ويمكن حساب المقاومة الداخلية $r_Z$ من تغير الجهد $\Delta U_Z$ وتغير التيار المناظر له، وهي تعتمد على التيار $I_Z$.

### دائرة إتزان (استقرار) الجهد




عند ارتفاع جهد الدخل $U_i$، يزداد $I_Z$ بقدر كبير وبالتالي يرتفع $U_{R_s}$ ويظل $U_{R_L}$ $(=U_Z)$ ثابتا تقريبا.

### حساب مقاومة التوالي $R_s$

لتيارات الحمل الصغيرة تطبق الصيغة: $(I_L < I_Z)$

$$R_s = \frac{U_i - U_Z}{I_Z + I_L}$$

لا تحدد مقاومة التوالي في حالتي التغيرات الكبيرة في تيار الحمل والتراوحات الكبيرة في جهد الدخول بقيمة واحدة بل يمكن اختيارها بين القيمتين $R_{s\,min}$ و $R_{s\,max}$:

$$R_{s\,max} = \frac{U_{i\,min} - U_{Zmin}}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

$$R_{s\,min} = \frac{U_{i\,max} - U_{Zmax}}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$$

### حساب تراوح الجهد على $R_L$

عند تراوح جهد التغذية تطبق الصيغة:

$$\Delta U_{R_L} = \frac{\Delta U_i \cdot r_Z}{R_s}$$

وعند تغير تيار الحمل تطبق الصيغة:

$$\Delta U_{R_L} = \Delta I_L \cdot r_Z$$

ملاحظات:

(١) يجب أن يبلغ جهد الدخل من ضعف إلى أربعة أمثال جهد الخرج.

(٢) لا يسمح بأن تكون قيمة $I_{Zmin}$ أصغر من القيمة $0{,}1 \cdot I_{Zmax}$

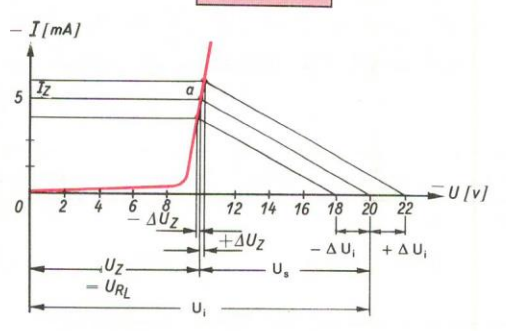
(٣) لا يسمح للتيار $I_L$ بأن يكون كبيرا جدا، لأن تيار الحمل يمر كله في الدايود عند إزالة الحمل.

### التمثيل التخطيطي مع الرسوم البيانية للتشغيل.

يرسم المنحنى الخصائصي للدايود الموجود بالربع الثالث (من تقاطع الإحداثيات)، في الربع الأول، ويمد محور U حتى $U_i$. كما يمد خط من نقطة التشغيل a إلى $U_i$ ليمثل خط المقاومة $R_s$.

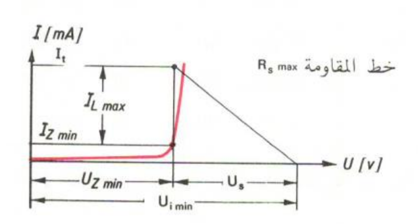
للحالة $I_L < I_Z$ يكون:

$$R_s = \frac{U_s}{I_Z}$$

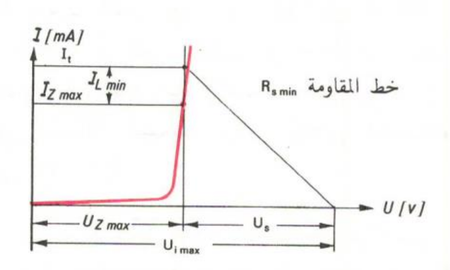



وعند حدوث تغيرات في جهد الدخول $\pm\Delta U_i$، يمكن قراءة التغيرات المناظرة في جهد الحمل $\pm\Delta U_{R_L}$ $(=\pm\Delta U_Z)$ من الرسم البياني مباشرة.

**تعيين** $R_{s\,max}$: عندما تكون $I_Z < I_{Zmin}$، لايكون الإتزان ممكنا.




**تعيين** $R_{s\,min}$:




حساب معامل الاتزان S:

$$S = \frac{\Delta U_{R_L} \cdot U_i}{U_{R_L} \cdot \Delta U_i}$$

وعندماتكون $R_s \gg r_Z$:

$$S = \frac{r_Z \cdot U_i}{R_s \cdot U_{R_L}}$$

يرمز أحيانا في بعض المراجع لمقلوب القيمة بالحرف S أيضا، وتكون S عندئذ أكبر من 1.

تمرينات

٦٦ – ١ تصل دائرة إتزان إلى معامل إتزان $S = 0{,}025$. ويتأرجح جهد الدخول في حدود ±10%. كم في المائة يتراوح جهد الخروج $U_{RL}$؟

٦٦ – ٢ يبلغ أعلى جهد في دائرة إتزان بمفتاح تحكم في الإضاءة عند الدخول 160 V ، ويبلغ أقل جهد 140 V ، ويراد لجهد الخروج $U_{RL} = 50$ V ألا يزيد تراوحه عن ±0,5 V. ما مقدار معامل الإتزان S المطلوب؟

٦٦ – ٣ يتطلّب قياس درجة الحرارة إلكترونيا جهدا متزنا تراوحه ±1%. ما مقدار التراوح المسموح به في جهد الدخول عند معامل إتزان $S = 0{,}07$؟

٦٦ – ٤ إذا لزم لدائرة تحكم تحتوي على ترانزستورات جهد متزن قدره 33 V ، وتوفر جهد قدره 70 V ، ما المقدار اللازم لمقاومة التوالي $R_s$ إذا كان تيار الحمل $I_L$ صغيرا بحيث يمكن إهماله ، وإذا استخدم الدايود BZY 95/C 33؟ (تؤخذ البيانات من الجدول)

(بيانات مأخوذة من معطيات المنتج) دايود زينر سليكوني

| طراز BZY 95/... | $I_Z$ (mA) | $U_Z$ (V) | $r_Z$ (Ω) | $P_{Zmax}$ (W) |
|---|---|---|---|---|
| C 10 | 50 | 10 ( 9,4···10,6) | 0,75 (≦ 4) | |
| C 15 | | 15 (13,9···15,6) | 1,0 (≦ 8) | |
| C 20 | | 20 (18,9···21,2) | 2,8 (≦ 12) | |
| C 27 | 20 | 27 (25,1···28,9) | 3,8 (≦ 18) | |
| C 33 | | 33 (31···35) | 5,0 (≦ 25) | 1,5 |
| C 43 | | 43 (40···45) | 13 (≦ 40) | |
| C 51 | 10 | 51 (48···54) | 15 (≦ 55) | |
| C 62 | | 62 (58···66) | 18 (≦ 75) | |
| C 75 | | 75 (71···79) | 20 (≦100) | |

تصلح جميع القيم لدرجة حرارة بالطبقة العازلة قدرها $t_a = 25°C$.

٦٦ – ٥ يرتفع التيار في الدايود ، في دائرة إتزان بها دايود زينر BZY 95/C 10 بسبب التغير في تيار الحمل إلى 200 mA. ويرتفع الجهد على الدايود في نفس الوقت إلى 11 V. هل سيتم تخطي القدرة القصوى المسموح بها (القيمة الحدية)؟ قارن النتائج بالجدول في المسألة السابقة ومع المنحنى الخصائصي في مسألة رقم (٦٦ – ١١) .

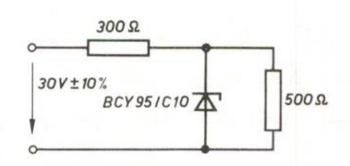
٦٦ – ٦ إذا لزم جهد متزن قدره 10 V لمضخم ترانزستور ويتوفر لدينا دايود زينر BZY 95/C 10 بياناته هي $I_Z = 5$ mA و $r_Z = 25\ \Omega$ وبلغ تيار الحمل 5 mA . ما مقدار مقاومة التوالي اللازمة إذا بلغ جهد الدخول 30 V؟

٦٦ – ٧ يسمح لجهد عياري قدره 33 V بالتغير بمقدار ±1% فقط ، عند تغير في جهد الدخول قدره ±20%. ويبلغ جهد الدخول 100 V وتيار الحمل 1mA . ما مقدار مقاومة التوالي $R_s$ ، ومعامل الاتزان S ، وتراوح الجهد $\Delta U_{RL}$ على الحمل؟ هل يظل الجهد ثابتا بين القيم المطلوبة؟ (تؤخذ البيانات من الجدول في مسألة رقم ٦٦ – ٤) .

٦٦ – ٨ يراد استخدام دايود زينر BZY 95/C 33 الوارد ذكره في المسألة السابقة ($I_Z = 5$ mA, $r_Z = 110\ \Omega$). بين كيفية تغير $S, R_s$ ، $\Delta U_{RL}$ على الحمل؟

٦٦ – ٩ يتغير تيار الحمل وقدره 5 mA بمقدار ±25% في دائرة إتزان ذات جهد حمل قدره 43 V. فإذا تم استخدام دايود زينر طراز BZY 95/C 43 ، ما هو التراوح في الجهد الناشئ على الحمل؟ (تؤخذ البيانات من الجدول في المسألة رقم ٦٦ – ٤ ) .

٦٦ – ١٠ اختبر إمكانية عمل إتزان للجهد في الدائرة المعطاة إلى ±0,030 V . ما هو معامل الإتزان الذي يمكن الوصول اليه؟ بين كيفية تغير معامل الإتزان ، إذا فرض جهد الدخول بالمقدار 40 V±10%؟ وما مقدار $R_s$ في هذه الحالة؟




٦٦ – ١١ يبين الشكل مجال المنحنيات الخصائصية لدايودات زينر المعطاة في الجدول علما بأن محور التيار مقسم لوغاريتميا ، ومحور الجهد مقسم خطيا .

أ ) ارسم المنحنى الخصائصي لدايود زينر BZY 95/C 33 بمحورين مقسمين خطيا .

ب) ارسم لنفس الدايود الرسم البياني (على ورق مليمترات) لدائرة الإتزان التالية :

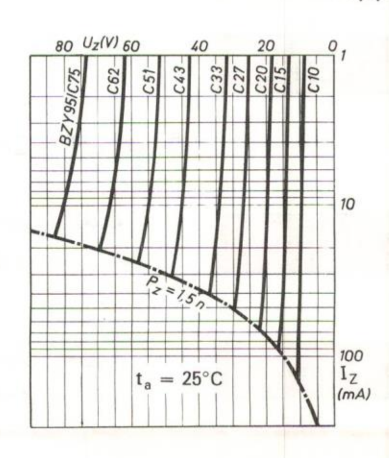
$U_i = 100$ V ± 30%; $I_Z = 33$ V.$I_L \ll I_Z$

(1 V ≙ 2 mm, 1 mA ≙ 5 mm.)

ج) ما مقدار التغير في الجهد على الحمل؟ (بالقياس التقريبي من الرسم .)

د ) راجع النتائج حسابيا .

وإذا ما كان الفرق بين القيم كبيرا ، أين يجب البحث عن السبب؟

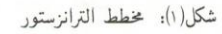


## ترانزستور PNP في دائرة الباعث المشترك كمضخم وكمفتاح كهربائي

الترانزستور هو جمع من أشباه الموصلات ، يمكنه التحكم بواسطة تيار صغير في تيارات أكبر . وفي ترانزستور الإتصال تترتب الطبقات المعالجة بالإضافة الموجبة والسالبة بالتبادل (الشكل ١) .




E = الباعث
B = القاعدة
C = المجمع



شكل(١): مخطط الترانزستور

شكل(٢): التيارات والجهود في الترانزستور

إذا وصل الجهدان المرسومان على تلك الطبقات ، فإن تيارا صغيرا يمر خلال القاعدة ، في حين يمر في المجمع تيار أكبر بكثير . وكل تغير في تيار القاعدة يتبعه تغير في تيار المجمع . ويبين الشكل (٢) نسب التيارات والجهود على الرسم الرمزي الموحد قياسيا للترانزستور . (تكون «+I» في اتجاه الدخول إلى الترانزستور)

تطبق للتيارات الصيغة : $I_E+(-I_B)+(-I_C)=0$

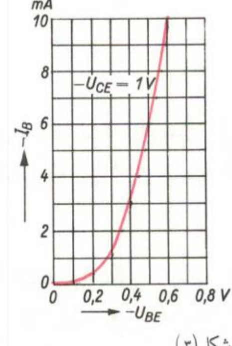
وتطبق للجهود الصيغة : $-U_{BE}+(-U_{CB})=-U_{CE}$

| $B=\frac{I_C}{I_B}$ | $\beta=\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ |
|---|---|
| معامل تضخيم التيار المستمر | معامل تضخيم التيار المتردد |

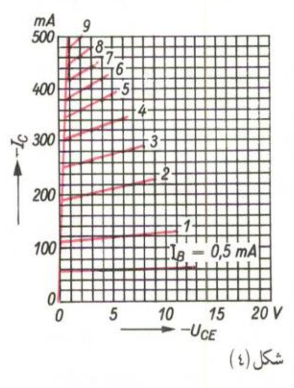
منحنيا الخواص التمثيليان للترانزستور :

أ ) يبين شكل (٣) العلاقة بين تيار القاعدة وفرق الجهد بين القاعدة والباعث .

ب) يبين شكل (٤) العلاقة بين تيار المجمع وفرق الجهد بين المجمع والباعث .




شكل(٣)




شكل(٤)

استخدامات الترانزستور :

يستخدم الترانزستور للأغراض التالية :

١ - كمضخم Amplifier للتيار المستمر (مفاتيح التحكم في الإضاءة مثلا) .

٢ - كمضخم للتيار المتردد (مضخمات التردد العالي والتردد المنخفض مثلا) .

٣ - كمفتاح إلكتروني (الوصل بدون ملامسات بتردد وصل عال) .

شكل(٥)

شكل(٦)

ويبين الشكلان (٥و٦) التشغيل بالتيار المتردد مع مقاومة حمل $R_L$ في خط توصيل المجمع . ويبدأ خط المقاومة عند $U_B$ وينتهي عند $I_C$ $(I_C=U_B \div R_L)$. يقسم $U_B$ عند نقطة التشغيل المختارة Q إلى $U_{CE}$ و $U_{RL}$. لكل ترانزستور مقاومة دخول ومقاومة خروج لكل من التيار المستمر والتيار المتردد ، وتعتمد القيمتان على نقطة التشغيل المختارة :

| | |
|---|---|
| مقاومة الدخول للتيار المستمر : $R_i$ | $R_i=\frac{U_{BE}}{I_B}$ |
| مقاومة الدخول للتيار المتردد : $r_i$ | $r_i=\frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$ |
| مقاومة الخروج للتيار المستمر : $R_o$ | $R_o=\frac{U_{CE}}{I_C}$ |
| مقاومة الخروج للتيار المتردد : $r_o$ | $r_o=\frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C}$ |
| تضخيم التيار المتردد (محملا) : | $A_i=\beta\cdot\frac{r_o}{R_L+r_o}$ |
| تضخيم الجهد المتردد (محملا) : | $A_v=\beta\cdot\frac{R_L\cdot r_o}{r_i(R_L+r_o)}$ |
| تضخيم القدرة : | $A_p=A_i\cdot A_v$ |
| القدرة المفقودة في المجمع : | $P_l=U_{CE}\cdot I_C$ |

ويلاحظ أن الترانزستور لا يعتبر مفتاحا نموذجيا (انظر الشكلين ٧ ، ٨)

شكل(٧): مفتاح نموذجي

شكل(٨): مفتاح ترانزستوري

شكل(٩): نقطة التشغيل في مفتاح ترانزستوري

Q = Quiescent point
f = forward
inv. = inverse

وتبين نقطتا التشغيل $Q_1$ و$Q_2$ في الشكل (٩) ، الترانزستور وهو في حالة توصيل وفي حالة لا توصيل .

| قدرة التوصيل | القدرة أثناء مرور التيار | القدرة أثناء حجز التيار |
|---|---|---|
| $P_s=\frac{1}{3}I_f\cdot U_{inv}$ | $P_f=I_f\cdot U_f$ | $P_{inv}=I_{inv}\cdot U_{inv}$ |

٦٧ – ١ إذا كان لترانزستور ما، عند نقطة التشغيل المختارة، تيار مجمع قدره ($-I_C=10$ mA) وتيار قاعدة قدره ($-I_B=150\ \mu$A). ما مقدار تيار الباعث $I_E$ بوحدة (mA)؟

٦٧ – ٢ يسمح للترانزستور AC 117 عند ($-U_{CE}=6$ V) بتيار مجمع قدره ($-I_C=50$ mA) (طبقا للبيانات المميزة) ويبلغ معامل تضخيم التيار المستمر $B=83,5$. ما مقدار تيار القاعدة ($-I_B$) وتيار الباعث $I_E$ بوحدة (mA)؟

٦٧ – ٣ إذا كانت البيانات المميزة التالية للترانزستور AD 138 هي: $-U_{CE}=1,5$ V, $-I_C=5$ A, $-U_{BE}=0,7$ V, $B=42$، ما مقدار الجهد بين المجمع والقاعدة؟ ما مقدار تيار القاعدة ($-I_B$) وتيار الباعث $I_E$؟ كم تبلغ القدرة المفقودة على المجمع؟

٦٧ – ٤ إذا كانت البيانات المميزة للترانزستور AF 139 هي: $-U_{CE}=6$ V, $-I_C=2$ mA, $-I_B=40\ \mu$A، اوجد معامل تضخيم التيار المستمر للترانزستور؟

٦٧ – ٥ قيست القيم التالية في دائرة ترانزستور فكانت: $U_B=9$ V، $-U_{BE}=100$ mV، $-U_{CE}=2$ V ومقاومة المجمع $R_L$ بلغت 3,3 kΩ. ما مقدار تيار المجمع ($-I_C$)؟

٦٧ – ٦ ما هي القيم التي تأخذها مقاومة الدخول للتيار المستمر للترانزستور الذي يمثل الشكل (٣) ص (١٦١) منحنى خواص دخوله عند القيم التالية:

أ) $-U_{BE}=200$ mV ب) $-U_{BE}=400$ mV ج) $-U_{BE}=550$ mV؟

تؤخذ القيم الناقصة واللازمة للحساب من منحنى الخواص. ما معنى النتائج الثلاثة؟

٦٧ – ٧ يراد تعيين مقاومة الدخول للتيار المتردد لنفس الترانزستور (المذكور في المسألة السابقة). كنقطة تشغيل افترضت: ($-U_{BE}=0,4$ V) ويوجد جهد متردد قيمته العظمى 0,1 V عند الدخول. تؤخذ القيم الناقصة من منحنى الخواص (شكل ٣).

٦٧ – ٨ يبين الشكل (٤) صفحة (١٦١) التمثيل البياني لمنحنيات الخواص لعلاقة الخروج للترانزستور المستخدم في المسألتين السابقتين. اوجد مقاومات الخروج للتيار المستمر عند:

($-U_{CE}=3$ V)، وعند تيارات القاعدة التالية:

أ) $-I_B=0,5$ mA ب) $-I_B=2$ mA ج) $-I_B=4$ mA

د) $-I_B=6$ mA هـ) $-I_B=8$ mA

اذكر المعلومات المستفادة من هذه النتائج؟

٦٧ – ٩ اوجد مقاومة الخروج للتيار المتردد للترانزستور الممثل في الشكل (٤) بصفحة (١٦١) عند: ($-U_{CE}=4$ V) و ($-I_B=5$ A)؟ (افترض للحساب أن: $\Delta U_{CE}=1$ V).

٦٧ – ١٠ اذا أعطيت مواصلة الخروج بالقيمة $\frac{I}{r_o}=h_{22}$ في جدول الترانزستور من أجل حسابات التضخيم. ما مقدار تضخيم التيار المتردد الذي يمكن الوصول اليه في الترانزستور AC 122، إذا بلغ معامل تضخيم التيار المتردد: $\beta=100$، وبلغت مواصلة الخروج: $h_{22}=50\ \mu$S وكانت مقاومة المجمع $R_L=5,6$ kΩ؟

٦٧ – ١١ يراد تعيين تضخيم الجهد وتضخيم القدرة لنفس الترانزستور المذكور في المسألة السابقة، إذا بلغت مقاومة الدخول للتيار المتردد $r_i$ القيمة 2 kΩ.

٦٧ – ١٢ يراد استخدام ترانزستور القدرة BDY 16 كمفتاح كهربائي. فإذا أعطت الجداول قيم التشغيل التالية:

(قيم مرور أو سريان التيار): $I_C=2,5$ A, $U_{CE}=2$ V

(قيم حجز أو منع التيار): $I_C=0,1\ \mu$A, $U_{CE}=60$ V

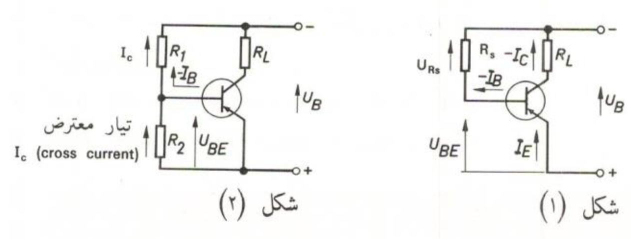
أ) ما مقدار قدرة التوصيل وقدرة المرور وقدرة الحجز.

ب) متى يحتمل أن تكون السخونة خطرا على الترانزستور؟ في حالة مرور أم في حالة حجز التيار؟

٦٧ – ١٣ استخدمت في دائرة لتوليد جهد انحياز للقاعدة في الترانزستورات ذات مقاومات توال (شكل ١)، وذات مجزئات جهد (شكل ٢).

اوجد قيمة مقاومة التوالي $R_s$ اللازمة لترانزستور بياناته هي: $-I_B=50\ \mu$A, $U_B=9$ V; $-U_{BE}=120$ mV؟

(إرشاد للحل: $U_B=U_{BE}+U_{Rs}$)




شكل (١) شكل (٢)

٦٧ – ١٤ وصلت مقاومة توال قدرها 120 kΩ بدائرة ترانزستور بياناتها هي: $U_B=6$ V, $-U_{BE}=0,3$ V لتوليد جهد انحياز للقاعدة. ما مقدار تيار القاعدة $-I_B$؟

٦٧ – ١٥ يراد اختيار دائرة مجزئ جهد لتوليد جهد القاعدة في ترانزستور ما. فإذا كان تيار القاعدة 150 μA ولزم أن يكون التيار المساعد في مجزئ الجهد $10\cdot I_B$، كي لا تتغير نسبة التقسيم بسبب تيار القاعدة المتغير، وكان جهد التشغيل $U_B=6$ V والجهد اللازم بين القاعدة والباعث 250 μV. ما مقدار المقاومتين $R_1$ و $R_2$؟

($-I_B$ يمر في $R_1$ فقط)

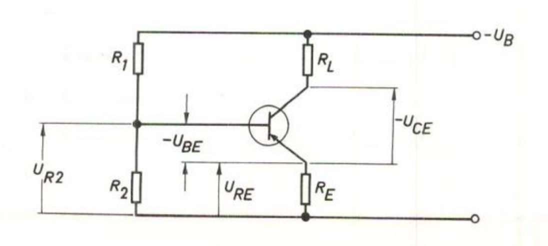
٦٧ – ١٦ أوجد التغير في الجهد بين القاعدة والباعث في دائرة الترانزستور المذكورة في المسألة السابقة، إذا زيد تيار القاعدة بمقدار 15%؟

٦٧ – ١٧ يراد حساب الدائرة المبينة بالشكل. وفيها تستخدم مقاومة الباعث $R_E$ لتوفير الإتزان في درجة الحرارة بالترانزستور. فإذا كانت المعطيات هي:

$R_E=200\ \Omega$; $R_L=3,3$ kΩ; $-I_C=2$ mA;

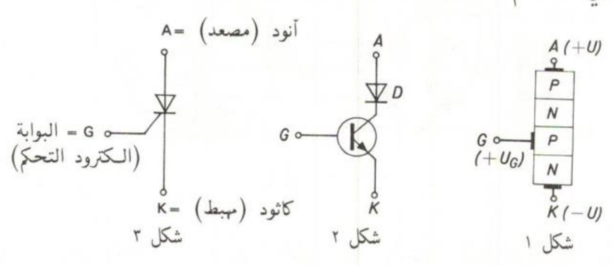
$-I_B=50\ \mu$A; $I_C=5\cdot I_B$; $-U_{BE}=200$ mV; $U_B=12$ V.

اوجد: $U_{RE}, U_{R2}, -U_{CE}, R_1, R_2$



## المقوِّم السليكوني القابل للتحكم (الدايود ذو الطبقات الأربع)

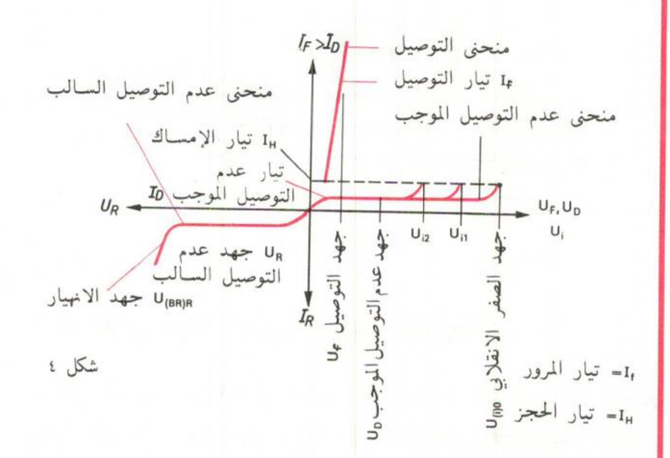
المقوم السليكوني القابل للتحكم (الثايريستور)، هو مجموعة من طبقات شبه موصلة من P و N معالجة (شكل ١) مع إلكترود إضافي للتحكم.



شكل ١ شكل ٢ شكل ٣

يعطي تتابع الطبقات ترانزستور NPN مع دايود موصلين على التوالي (شكل ٢). فإذا لم يوجد أي جهد موجب على البوابة فإن تتابع الطبقات هذا يكون لا موصلا (حاجزا). ويصبح «الترانزستور» موصلا عند وضع جهد إضافي على البوابة ويكون الدايود D على أية حال موصلا في الإتجاه الأمامي. ويبين شكل (٣) الرمز الموحّد للثايريستور.

ويمثّل شكل (٤) المنحنى الخصائصي للثايريستور. وعند جهد معين (جهد الإنقلاب) على الأنود يصبح الثايريستور موصلا وتكون مقاومته حينئذ صغيرة ويمر به تيار توصيل كبير عند جهد توصيل صغير. ويتوقف عن التوصيل ثانية عند: $I_f < I_H$



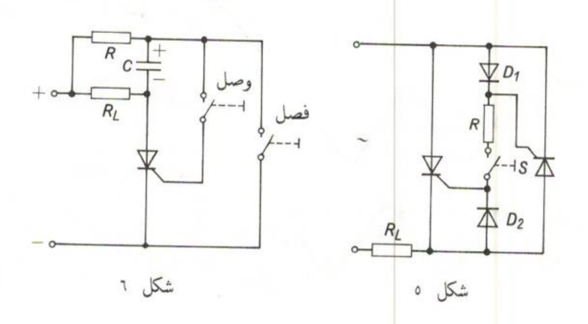
شكل ٤

إذا لم يوجد أي جهد على البوابة، فإن الثايريستور ينقلب إلى حالة التوصيل عند $U_{i0}$ وينتج جهدا الإنقلاب $U_{i1}$ و $U_{i2}$ عند تياري تحكم مختلفين في البوابة.

| الطراز | $U_{(i)0}$ (V) | $U_f$ (V) | $I_f$ (A) | $U_{R\,max}$ (V) | $\Delta U_G$ (V) | $I_G$ (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BTX18/300 | 350 | 1,5 | 1 | 300 | 0,2...2 | <0,005 |
| BTY87/500 R | 500 | 3 | 8,2 | 500 | 0,25...3,5 | <0,065 |
| BTX13/600 R | 600 | 3,5 | 22 | 600 | 0,25...3 | <0,050 |
| BTY95/800 R | 800 | 3,3 | 32 | 800 | 0,25...3 | <0,080 |
| BTX49/1400R | 1300 | 3,5 | 60 | 1400 | 0,25...3 | <0,100 |
| BTX41/1800R | 1800 | 1,5 | 175 | 1800 | 0,15...3 | <0,300 |

### استخدام الثايريستور

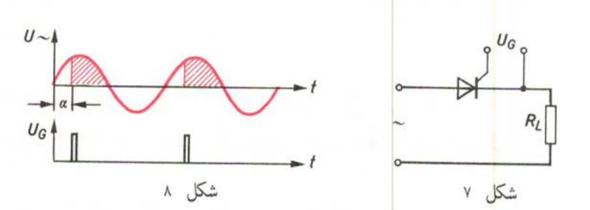
يمكن استخدام الثايريستور كمفتاح قابل للتحكم فيه عن بعد. يبين شكل (٥) إحدى إمكانيات التوصيل:



شكل ٥ شكل ٦

عند فصل المفتاح S، يتوقف كلا الثايريستورين. وعندما تكون الدائرة مقفلة، يكوّن الدايودان $D_1$ و $D_2$ مع R مجزئ جهد، ويفتح كل منهما أحد الثايريستورين. ويبين شكل (٦) «قاطع تلامس للتيار المستمر» بدائرة فصل ذاتية فيقوم المفتاح «وصل» بفصل الثايريستور ويشحن المكثف C حتى يصل إلى جهد الشبكة. ويقوم المفتاح «فصل» بتوصيل C على الكاثود. ويكفي هذا لإطفاء الثايريستور.

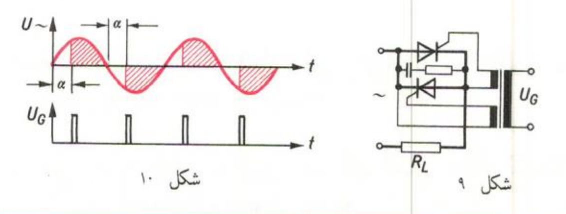
ويجد الثايريستور أكبر انتشار له، **كمقوم قابل للتحكم في دوائر التيار المتردد**، إذ يمكن عن طريق زحزحة مجموعة الإشعال (التحكم بتقاطع الطور) التحكم في الحمل من صفر حتى الحمل الكامل، ويبين الشكلان (٧) و (٨) الظروف السائدة في دائرة تيار بسيطة.



شكل ٧ شكل ٨

يمكن زحزحة مجموعة الإشعال من $\alpha=0°$ حتى $\alpha=180°$. ويكون جهد الحمل المؤثر على $R_L$ عندئذ هو المتوسط الحسابي للمساحة المظللة فقط (مقسومة على فترة واحدة).

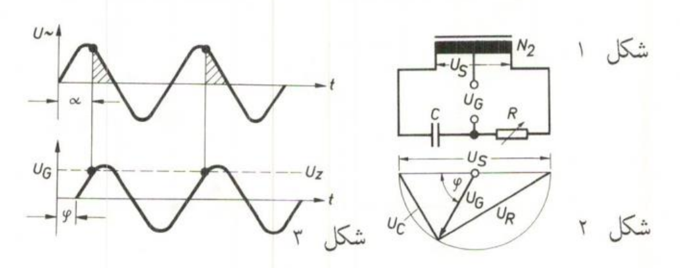
يستخدم في دائرة التوازي المتضاد نصفا الموجة (الشكلان ٩، ١٠). ولما كان الكاثود والأنود موصلين على التوازي معا، فإنه يجب استخدام محول نبضات يوصّل على التوازي مع الثايريستور بتوصيل توال يتكون من مقاومة ومكثف، لحماية الثايريستور من الأحمال ذات الجهد العالي في حالة التحميل الحثي.



شكل ٩ شكل ١٠

تمرينات

٦٨ — ١ يمكن ضبط مجموعة الإشعال بواسطة جهود مترددة أيضاً. ففي القنطرة الطورية (شكل ١) المبينة، يزاح جهد الإشعال $U_G$ بالنسبة لجهد التشغيل. ويبين الشكلان (٢) و (٣) الرسم البياني للطور والرسم البياني للتغير مع الزمن.
يمكن تغيير زاوية تقاطع الطور α بواسطة الدائرة (شكل ٣) من 0° حتى 170°. (تحكم أفقي)



شكل ١ شكل ٢ شكل ٣

ما هي القيمة الواجبة للمقاومة R، إذا لزم الأمر أن تبلغ زاوية الطور φ في القنطرة 90° عند جهد متردد ذي f = 50 Hz، وكانت سعة المكثف 3 μF؟

٦٨ — ٢ ما السبب في أن زاوية الطور φ لا تتغير من 0° حتى 180° بالمسألة السابقة؟

٦٨ - ٣ يراد توضيح العلاقة بين α وφ في قنطرة طورية، فإذا كانت زاوية الطور: φ = 30°، وكانت القيمة العظمى للجهد الثانوي الكلي على اللفيفة $N_2$ هي: $U_{max}$ = 6 V، وجهد الإشعال للثايريستور 1,5 V، ما مقدار زاوية تقاطع الطور α؟

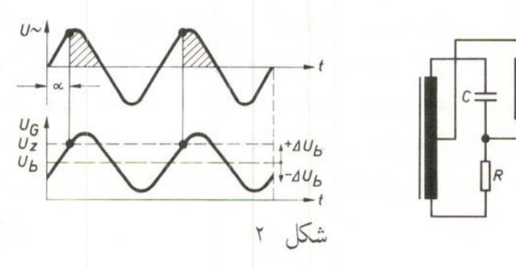
ارشاد للحل:

أ) الحل بالرسم: انظر شكل ٣ في المسألة (٦٨ - ١)

ب) الحل بالحساب: جهد الإشعال، هو قيمة على المنحنى الجيبي ذو القيمة العظمى: $U_{max}$ = 3 V ومحدد لزاوية معينة.

٦٨ - ٤ ما مقدار الجهود الجزئية على كل من R و C عند: $U_{s\,max}$ = 6 V و φ = 30°. يجب أن تكون النتيجة بالقيم الفعالة.

٦٨ - ٥ يمثل شكلا (١) و (٢) **التحكم الرأسي** في زاوية تقاطع الطور. يتصل جهد تحكم مزاح بزاوية طور معينة α على التوالي مع جهد مستمر يمكن تغييره بواسطة جهد البطارية «لرفع» و «خفض» الجهد المتردد.



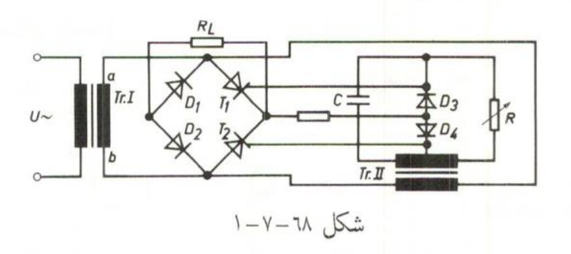
شكل ١ شكل ٢

أ) استنتج من الشكل (٢) إلى أي زاوية تقاطع للطور φ بالتقريب يمكن إزاحة الحالة المرسومة؟

ب) ما هي زاوية الطور φ التي يبدو أنها أنسب حالة للتحكم الرأسي؟ (زاوية التقاطع): (α = 0°....180°).

٦٨ - ٦ احسب أقل جهد مطلوب لبطارية لكي يبلغ جهد إشعال الثايريستور 2 V والقيمة الفعالة للجهد المتردد 0,5 V؟

٦٨ - ٧ أمثلة أخرى للاستخدامات: **تحكم الإظلام في المصابيح:**

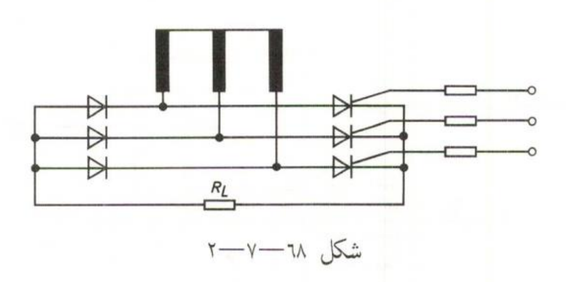


شكل ٦٨-٧-١

يتم التحكم في قنطرة المقومات بواسطة الدائرة المبينة في شكل ٦٨ - ٧ - ١. عين الدايودات والثايريستورات الموصلة والحاجزة، أ) أثناء نصف الموجة الموجب ب) أثناء نصف الموجة السالب عند النقطة a بالمحول I بالشكل ٦٨ - ٧ - ١.

## مقوم التيار ثلاثي الأطوار المتحكم فيه

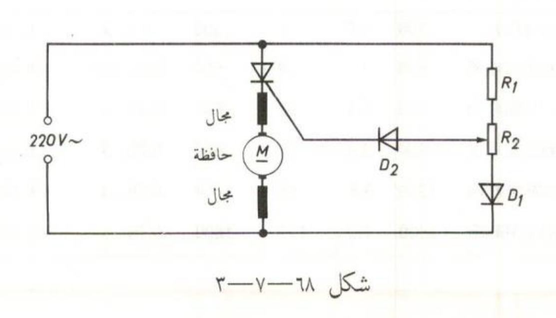
تتميز الدائرة القنطرية المبينة في الشكل ٦٨—٧—٢ بصغر التموج المتبقي، وهي تلائم الدوائر المتحكم فيها. إلا أن هناك بعض الصعوبة في الإشعال إذ إنه من الضروري إستخدام ثلاثة مولدات إشعال منفصلة عن بعضها البعض لكي تزاح زاوية التقاطع من 0° حتى 180°.



شكل ٦٨—٧—٢

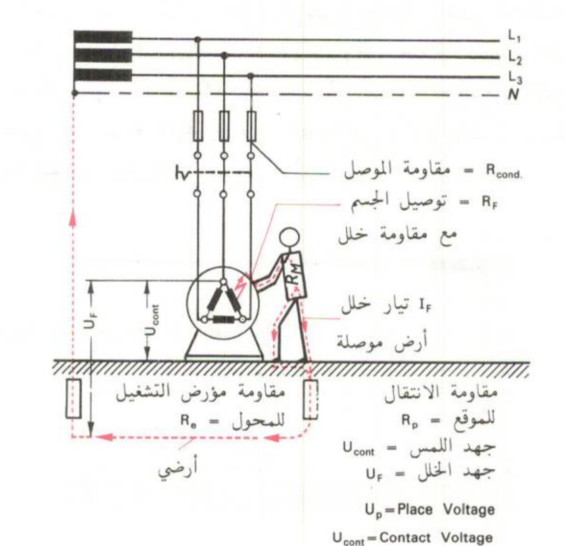
## التحكم في سرعة دوران المحركات الصغيرة:

تمثل الدائرة الموضحة في الشكل ٦٨—٧—٣ دائرة بسيطة للتحكم في المحركات. يتم تغيير زاوية الإشعال حتى 90° بواسطة المقاومة $R_2$ وتعمل الدائرة بتشغيل نصف الموجة بتردد 50 Hz ويجب على الدايود $D_2$ أن يمنع الزيادات في التحميل في مدى الجهد السالب على بوابة الثايريستور.
ويخفف $D_1$ الحمل عن مجزئ الجهد في نصف المدة. ويمكن لدايود للحركة الطليقة (غير مرسوم هنا) والموصل على التوازي والمضاد للعضو الدوار، جعل القوة الدافعة الكهربائية لفصل الملفات نافعة.



شكل ٦٨—٧—٣

## المقاومات في إجراءات الوقاية وتعاريفها




مقاومة الجسم $R_M$ تبعا لمسار التيار :

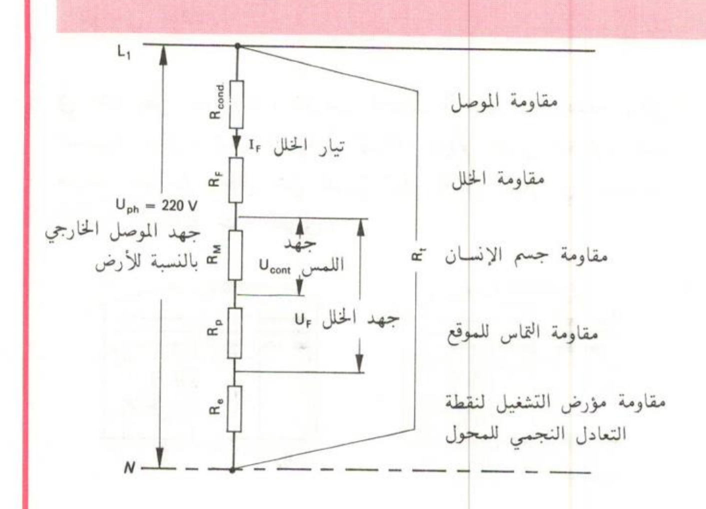
أ ) قدم – قدم : 6500 Ω

ب) يد – قدم : 4500 Ω

ج) يد – يد : 4000 Ω

د ) يد – كلتا القدمين : 3000 Ω

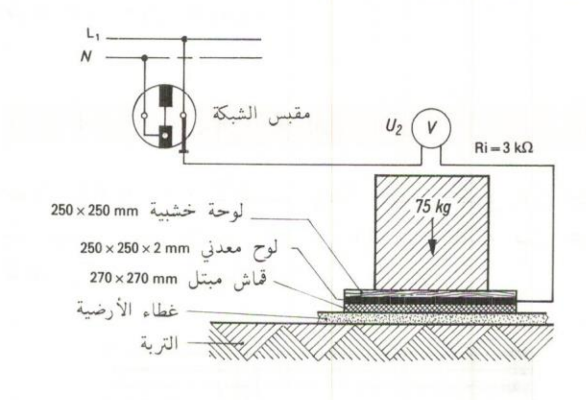
هـ) كلتا اليدين – كلتا القدمين : 1800 Ω




بإهمال مقاومة الموصل ومقاومة الخلل نحصل على تيار الخلل ومقداره :

$$I_F = \frac{U_{ph}\ \text{جهد الطور}}{R_M+R_p+R_e} = \frac{\frac{U}{1,73}}{R_M+R_p+R_e}$$

## اختبار مقاومة العزل :




يعتمد جهد التلامس $U_{cont}$ على $R_M$ وعلى $R_p$ . ويمكن تعيين المقاومة الموضعية طبقا لتعليمات (VDE 0100/12.65, § 24 N) بواسطة الدائرة المرسومة، وتكون كافية تماما، إذا كان القياس عند ثلاثة مواقع اختيارية بأرضية الحجرة وعلى ألا تقل المقاومة الأرضية عند كل موقع عن 50 kΩ .

$$\frac{R_p}{R_i} = \frac{U_1-U_2}{U_2}; \quad R_p = R_i\,\frac{U_1-U_2}{U_2}; \qquad R_p = R_i\left(\frac{U_1}{U_2}-1\right)$$

$R_i$ = المقاومة الداخلية لجهاز القياس (≈ 3 kΩ)

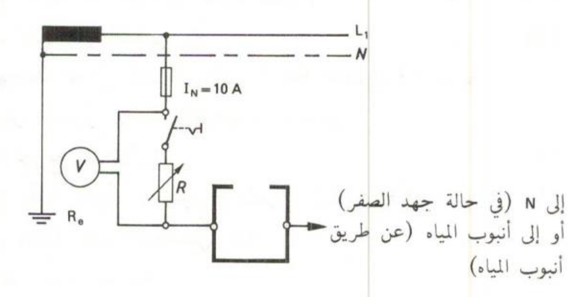
$U_1$ = جهد الشبكة بالنسبة للأرض

$U_2$ = الجهد المقاس عند ثلاثة مواقع على الأقل

$R_p$ = المقاومة الموضعية .

## المقاومة الإطارية

عند تأريض الوقاية، مع وجود خط عودة لتيار الخلل عبر شبكة أنابيب المياه يجب اختبار مقاومة الإطار الموصل (مجموع مقاومات مؤرض التشغيل، ومؤرض الوقاية، والموصلات) . ويلزم لقياس المقاومة الإطارية، مقاومة متغيرة وڤولطمتر ذو مقاومة عالية .




القياس : توصل مقاومة R قيمتها حوالي 400 Ω . فإذا لم ينخفض الجهد بعد توصيله في الدائرة إنخفاضا شديدا، وجب إنقاص المقاومة المتغيرة R حتى 20 Ω . فإذا كان $U_2$ هو الجهد المقاس على الڤولطمتر و $U_1$ هو جهد الموصل الخارجي بالنسبة للأرض بدون تحميل، فإن المقاومة الإطارية $R_l$ تكون :

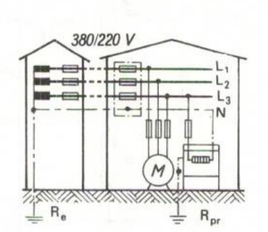
$$R_l = R\cdot\left(\frac{U_1-U_2}{U_2}\right) = \frac{U_1-U_2}{I} \quad \le \frac{U_e}{I_{Br}}$$

$U_e$ = الجهد بالنسبة للأرض

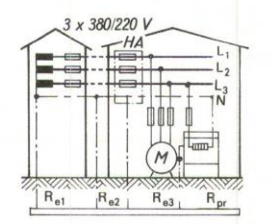
$I_{Br}$ = تيار الفصل للمصهر .

## تأريض الوقاية

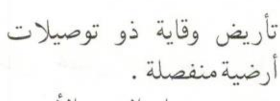
في «تأريض الوقاية» : تؤرض أجزاء الأجهزة الموصلة وغير المنتمية لدائرة تيار التشغيل ($R_{pr}$)، ويتم فصل الدائرة عند موضع حدوث الخلل عن طريق تيار الخلل المار في مصاهر التأمين الموصلة على التوالي .




تأريض وقاية ذو توصيلات أرضية منفصلة .
يتم تفريغ تيار العودة الأرضي خلال الأرض




تأريض وقاية على شبكة أنابيب المياه .
يتم تفريغ تيار العودة الأرضي خلال شبكة أنابيب المياه وخلال الموصل المؤرض N.



$$R_{Pr}=\frac{65\ V}{I_{Br}}=\frac{65\ V}{K\cdot I_N}$$

$$R_{Pr}=\frac{U_e}{I_{Br}}=\frac{U_e}{K\cdot I_N}$$

## تيار الفصل $I_{Br}$

تيار الفصل $I_{Br}$ يقصد به المضاعفات K للتيار الإسمي $I_N$ للمصهر الموصل على التوالي :

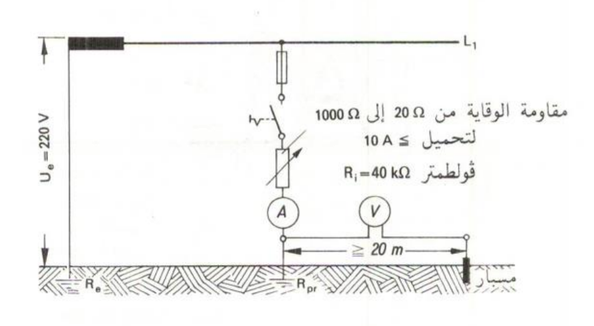
$$I_{Br}=K\cdot I_N$$

| المجموعة | المعامل K |
|---|---|
| مفتاح حماية ذو فواصل دائرة قصر ، يضبط على تيار الفصل $I_R$ | 1,25 |
| كبل وخط هوائي (شبكة ذات أربعة خطوط) ، نهاية التوصيل للمنزل وخط التوصيل الرئيسي (خط توزيع الأحمال) | 2,5 |
| مفتاح وقاية خط توصيل للإستعمال المنزلي (DLP) | 2,5 |
| مفتاح وقاية خط التوصيل (LP) | 3,5 |
| مصاهر تأمين سريعة | 3,5 |
| مصاهر تأمين (≦50 A) بطيئة | 3,5 |
| مصاهر تأمين (≧60 A) بطيئة | 5 |

| مساحة مقطع موصل الوقاية مصنوع من نحاس بوحدة (mm²) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الموصل الخارجي | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 |
| PE في خط معزول | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 16 |
| PE في كبل 1 kV | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 16 |
| PE محمي (protected) بالصقل | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 |
| PE غير محمي | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 10 | 16 |

## مقاومة الأرض لانتشار (تشتت) الجهد

يلزم إجراء هذا القياس على تأريض الوقاية عند استخدام المؤرضات الذاتية ، وعند اختبار الأرض لدوائر جهد الخلل FU ودوائر تيار الخلل FI للوقاية ولمؤرضات موصل التفرع النجمي ولأجهزة الوقاية من الصواعق وللهوائيات . ويمكن إجراء القياس بواسطة أمبيرمتر وڤولطمتر .

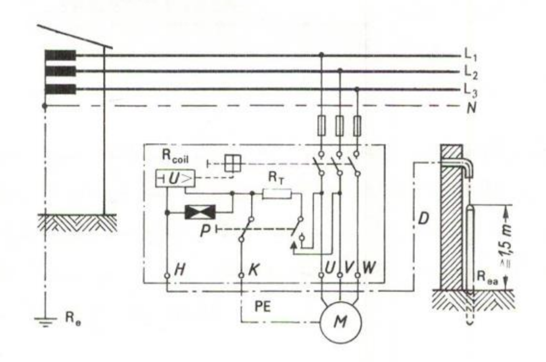



$$R_{pr}=\frac{U}{I}$$

يجب الحفاظ على الحد الأدنى للمسافة وقدره 20 m حتى لا يقع المسبار في النطاق المخروطي لتجمعات الجهد للتأريض المراد قياسه . ويجب أن يبلغ مجال قياس الأمبيرمتر 10 A . ويراعى أن تكون المقاومة الداخلية للڤولطمتر 40 kΩ على الأقل . ويمكن أثناء القياس أن تنشأ جهود متدرجة عالية في نطاق دائرة قطرها 10 m حول المؤرض .

## دائرة الوقاية من جهد الخلل (FU)

تفصل دائرة FU جميع الأقطاب لوقاية الجهاز المحتوي على خلل عند ظهور جهد تلامس عال في 0,1 من الثانية من جميع أطرافه . كما تفصل الموصل N .

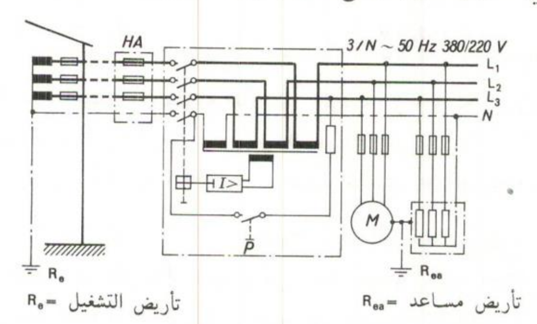



D= موصل التأريض المساعد المعزول
PE = موصل الوقاية (التأريض)
$R_{ea}$ = مقاومة المؤرض المساعد ، $R_{Coil}$ = مقاومة ملف FU ،
$R_T$ = مقاومة الاختبار ، $I_{Br}$ = تيار الفصل لمفتاح FU (من 40 mA إلى 50 mA) $U_F$ = جهد الخلل .

$$U_F=I_{Br}\cdot(R_{ea}+R_{Coil})$$

## دائرة الوقاية من تيار الخلل (FI)

تفصل دائرة الوقاية FI مقاومة الحمل عند ظهور جهد تلامس قدره 65 V، في مدى 0,1 من الثانية من جميع أقطابه كما تفصل الموصل N. وينتج الفصل بسبب تيار الخلل الذي ينقل كتيار فرقي خلال محول تجميع التيار وأيضا عبر ملف تيار الخلل.




وتعتمد مقاومة المؤرض المساعد $R_{ea}$ على أعلى جهد تلامس ($U_{cont}=65\ V$) وعلى تيار الفصل (تيار الخلل الإسمي أو تيار الخلل الحدي) لمفتاح FI

(تيار الفصل: 3 A، 1 A، 0,5 A، 0,3 A)

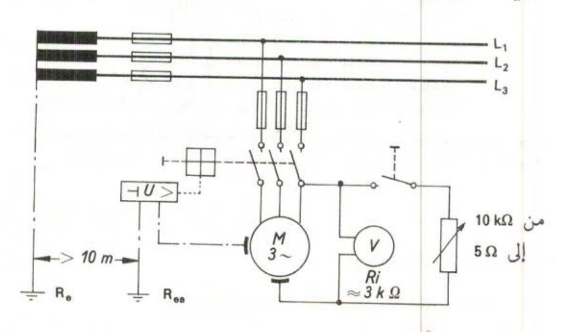
$$R_{ea}=\frac{U_{cont}}{I_{Br}}=\frac{65\ V}{I_{Br}}$$

## اختبار مدى فاعلية دوائر FU ودوائر FI للوقاية

بالقياس عند أي جهد خلل قسري يفصل مفتاح FU الدائرة أو عند أي تيار خلل حدي يفصل مفتاح FI الدائرة ويبلغ أعلى جهد تلامس غير ضار:

أ) لحماية الإنسان: 65 V

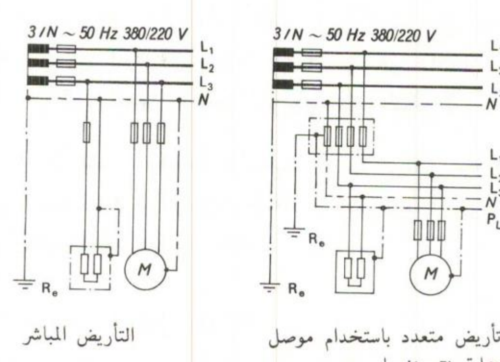
ب) لحماية الحيوانات: 24 V




توضح الدائرة المرسومة اختبار مدى فاعلية دائرة FU. وفي اختبار دائرة FI، تستخدم نفس دائرة القياس. ويمكن إحكام مراقبة تيار الخلل عن طريق توصيل أمبيرمتر في خط تأريض الجهاز المطلوب. وعلى سبيل المثال إذا بلغت قراءة الجهد في اختبار دائرة FU 195 V وكان الجهد بين أحد الموصلات الخارجية والأرض 220 V، كان جهد الخلل $220\ V-195\ V=25\ V$.

## التعادل (تأريض الوقاية المتعدد).

عند حدوث توصيل بجسم الجهاز ينفصل موضع الخلل بواسطة تيار الخلل الذي يؤدي إلى انصهار المصهر الموصل مع الشبكة على التوالي.




التأريض المباشر

تأريض متعدد باستخدام موصل حماية PL منفصل

عند حدوث دائرة قصر تام بين أحد الموصلات الخارجية والموصل N فيجب أن يمر تيار الفصل $I_N$:

$$I_N=\frac{I_{sh}}{K}$$

$I_{sh}$= تيار دائرة القصر

K= معامل الفصل

## المقاومة النوعية للأرض، مقاومة الانتشار في طبقات الأرض

الجدول I: المقاومة النوعية للأرض $\varrho$ (Ω·m) (القيم المتوسطة)

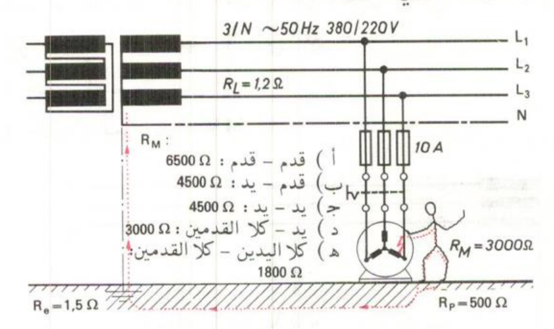
| نوع الأرض (التربة) | أراضي صخرية | رمال جافة أو حصى | حصى رطب | رمال رطبة | أراضي صلصالية وطينية وزراعية | أراضي مستنقعات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| المقاومة النوعية $\varrho$ | 3000 | 1000 | 500 | 200 | 100 | 30 |
| معامل النسبة r | 30 | 10 | 5 | 2 | 1 | 0,3 |

الجدول II: مقاومة الانتشار $R_1$ عند $\varrho_1=100\ \Omega\cdot m$ (أراضي صلصالية طينية وزراعية)

| نوع ومقاسات المؤرض | لوح عمودي (m) | | قضيب أو اسطوانة (m) | | | شريط أو حبل معدني (m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5×1 | 1×1 | 1 | 2 | 3 | 10 | 25 | 50 |
| مقاومة الانتشار $R_1$ | 35 | 25 | 70 | 40 | 30 | 20 | 10 | 5 |

تمرينات

٦٩ – ١ احسب مستعينا بالمعطيات والدائرة ومقاومات الجسم المختلفة للإنسان تيار الخلل $I_F$ وجهد التلامس $U_{cont}$ للمحرك غير المؤرض. ماهي النتيجة المستفادة؟




الحل لحالة التلامس (د) :

$$R = R_L + R_M + R_p + R_e =$$

$$= 1{,}2\ \Omega + 3000\ \Omega + 500\ \Omega + 1{,}5\ \Omega = \underline{3502{,}7\ \Omega}$$

$$I_F = \frac{U_{ph}}{R} = \frac{220\ V}{3502{,}7\ \Omega} = \underline{0{,}062\ A}$$

$$U_{cont} = I_F \cdot R_M = 0{,}062\ A \cdot 3000\ \Omega = \underline{186\ V}$$

٦٩ – ٢ في شبكة تيار ثلاثي الأطوار 3/N~50 Hz 380/220 V تم اختبار المقاومة الموضعية بواسطة ڤولطمتر مقاومته الداخلية : $R_i = 5\ k\Omega$ . وقد أعطى جهاز القياس القراءة : $U_2 = 42\ V$ . احسب مقاومة العزل عند ذلك الموضع . وهل يفي هذا المكان بمتطلبات العزل؟

٦٩ – ٣ عين مقاومة العزل لفرش أرضية إذا كانت الشبكة : 3/N ~ 50 Hz, 380 V; $R_i = 3\ k\Omega$ وكانت قراءات الجهد عند قياس الجهد $U_2$ في ثلاثة مواقع هي :
أ) 8,5 V ب) 9,7 V ج) 11 V .

٦٩ – ٤ ماهي القيمة التي لا يسمح للجهد المقاس $U_2$ بتجاوزها عند القياس بڤولطمتر ذي $R_i = 3\ k\Omega$ عند : أ) $U_1 = 220\ V$ بالنسبة للأرض ب) $U_1 = 110\ V$ بالنسبة للأرض ، إذا أريد أن تكون المقاومة الموضعية للأرض كافية؟

٦٩ – ٥ بيانات المصنع لمقاومة العزل لفرش الأرضية المصنوع من مادة PVC هي 200 kΩ وعندما كانت : $R_i = 10\ k\Omega$, $U_1 = 220\ V$ أعطى القياس القيمة : $U_2 = 11\ V$. هل معطيات المنتج صحيحة؟

٦٩ – ٦ تم تأمين دائرة تيار كهربائية ذات $U_e = 220\ V$ (الجهد بالنسبة للأرض) بواسطة مصهر تأمين 10 A. عين أقصى مقاومة إطارية مسموح بها للشبكة .

الحل :

$$R_l = \frac{U_e}{I_{Br}} = \frac{U_e}{I_N \cdot K} = \frac{220\ V}{10\ A \cdot 3{,}5} = \frac{220}{35}\ \Omega = \underline{6{,}28\ \Omega}$$

٧٠ – ١ احسب مستعينا بالجدول التالي أقصى مقاومة إطارية مسموح بها $R_l$ لدوائر تيار التشغيل بمختلف أنواع التأمين، بواسطة المعامل K المستخرج من الجدول. وإذا بلغ الجهد $U_e$ بالنسبة للأرض 110 V أو 220 V ، عين تيار دائرة القصر $I_{sh}$ عند نهاية خط التوصيل أو عند الحمل مستعملا الصيغة الرياضية :

$$I_{sh} = \frac{U_e}{R_l}$$

| وسيلة الفصل | الجهد $U_e$ | التيار الإسمي $I_N$ |
|---|---|---|
| أ) مصهر تأمين | 220 V | 25 A بطيء |
| ب) مصهر تأمين (خط رئيسي) | 110 V | 35 A |
| ج) مفتاح تأمين الخط الرئيسي (MLP) | 220 V | 10 A |
| د) مصهر تأمين | 110 V | 25 A سريع |
| هـ) مفتاح تأمين الخط | 220 V | 10 A |
| و) مفتاح وقاية | 220 V | 20 A |

٧٠ – ٢ احسب مقاومة تأريض الوقاية في حالة مرور خط العودة خلال الأرض إذا كان التيار الإسمي :
أ) لمصهر التأمين $I_N = 10\ A$ ب) لمفتاح (MLP)، $I_N = 10\ A$

٧٠ – ٣ ما هو المقدار المسموح به لمقاومة تأريض الوقاية (المقاومة الإطارية) عند مرور خط عودة التيار خلال شبكة أنابيب المياه، بحيث تكون القيم في المسألة السابقة هي الحد الأقصى؟

٧٠ – ٤ عين ، من الجدول التالي ، أعلى مقاومة تأريض مسموح بها لمفتاح FI.

| | جهد التلامس | | تيار الفصل | التيار الإسمي |
|---|---|---|---|---|
| أ) | 24 V | 65 V | 0,3 A | 25 A |
| ب) | 24 V | 65 V | 0,5 A | 25 A |
| ج) | 24 V | 65 V | 1,0 A | 40 A |
| د) | 24 V | 65 V | 3,0 A | 60 A |

٧٠ – ٥ يحتاج مفتاح FU ذو $R_{coil} = 500\ \Omega$ إلى تيار فصل قدره 40 mA . وتبلغ المقاومات $R_{ea}$ (التأريضات المساعدة) :
أ) 100 Ω ب) 200 Ω ج) 400 Ω د) 700 Ω هـ) 800 Ω . عند أي جهد خلل يفصل ملف FU؟

٧٠ – ٦ تم تأمين جهاز ذو تأريض حماية متعدد بمصهر 25 A . عين تيار الفصل $I_{Br}$ (أقل تيار دائرة قصر) .

٧٠ – ٧ يبلغ أقل تيار دائرة قصر في تركيبة حمل (K=3,5) في حالة تأريض الوقاية المتعدد 122 A. ما هو المقدار المطلوب للتيار الإسمي لمصهر التأمين الموصل على التوالي؟

٧٠ – ٨ ما مقدار مقاومة الانتشار بالألواح الأرضية R لمؤرض أنبوبي طوله 2 m في رمال رطبة؟ كم مؤرضاً أنبوبياً منفصلاً يلزم لمقاومة كلية قدرها 15 Ω؟

الحل :

$R_1$ (من الجدول II) $= 40\ \Omega$

(معامل النسبة r من الجدول I) : $R = R_1 \cdot r = 40\ \Omega \cdot 2 = \underline{80\ \Omega}$

$n = \frac{R}{R_t} = \frac{80}{15} \approx 6$ أي تناظر ستة أنابيب مؤرضات منفصلة

٧٠ – ٩ كم مؤرضاً شريطياً أو حبلياً معدنياً طول كل منها 25 m ، تلزم لمقاومة أرض قدرها 10 Ω في حصى رطب ذي $\varrho = 500\ \Omega \cdot m$؟

٧٠ – ١٠ ما مقدار مقاومة الانتشار لمؤرض لوحي أبعاده 1 m × 1 m ، في أرض صلصالية؟
كم لوحا يجب ادخالها عمودية في الأرض، إذا كانت المقاومة المطلوبة هي : $R_e = 5\ \Omega$؟

# رموز الصيغ الرياضية ووحدات الكميات المستخدمة في هذا الكتاب

| الكمية | رموز الصيغ الرياضية | الوحدة (SI) | مضاعفات وأجزاء الوحدة |
|---|---|---|---|
| **الكميات الهندسية** | | | |
| الطول | (length) l | m | km, dm, cm, mm, μm, A° |
| المسافة | (distance) s | m | dm, cm, mm |
| العرض | (breadth, width) b | m | dm, cm, mm |
| الارتفاع | (height) h | m | dm, cm, mm |
| نصف القطر، (ذراع الرافعة) | (radius) r | m | dm, cm, mm |
| القطر (قطر دائرة الخطوة) | (diameter) d, D | m | dm, cm, mm |
| المحيط | (circumference) U | m | dm, cm, mm |
| المساحة، مساحة المقطع | (cross-sectional area, area) A | $m^2$ | $dm^2$, $cm^2$, $mm^2$ |
| المساحة السطحية | (surface area) $A_s$ | $m^2$ | $dm^2$, $cm^2$, $mm^2$ |
| الحجم | (volume) V | $m^3$ | hl, l, $dm^3$, $cm^3$, $mm^3$ |
| الزاوية | (angle) α, ß, γ | rad (=m/m=1) | درجة (°) |
| | | | دقيقة (′) ثانية (″) |
| زاوية الطور | (phase angle) φ | rad | درجة (°) |
| **الكميات الزمنية وكميات الحيّز والزمن** | | | |
| | | | (ساعة) h, (دقيقة) min |
| الزمن، المدّة الزمنية، الأمد | (time) t | s | 8760 h= (سنة) a, (يوم) d, |
| زمن الدورة | (periodic time) T | s | |
| التردّد | (frequency) f | Hz (=1/s) | GHz, MHz, kHz |
| التردّد الزاوي | (angular frequency) ω | 1/s | |
| سرعة الدوران (عدد الدورات في الدقيقة) | (rotational speed) n | r.p.m. | |
| سرعة دوران المجال، سرعة الدوران التزامنية | (field frequency) $n_F$ | Hz (=1/s) | |
| السرعة الزاويّة | (angular velocity) ω | rad/s | rad/min |
| السرعة | (velocity) v | m/s | km/h, m/min |
| التسارع (التقاصر) | (acceleration) a | | |
| | (deceleration) (-a) | $m/s^2$ | $cm/s^2$ |
| التصريف أو التيار الحجمي | (discharge) Q | $m^3/s$ | l/h, l/s, $m^3/h$ |
| **الكميات الميكانيكية** | | | |
| الكتلة | (mass) m | kg | t, g, mg |
| القوّة | (force) F | N | MN, kN, daN |
| الوزن (الثقل) | (weight) G | N | MN, kN, daN |
| عزم الدوران، عزم | (torque, nominal torque) | | |
| الدوران الاسمي | M, $M_N$ | Nm | kNm |
| عزم دوران بدء الحركة | (starting torque) $M_{st}$ | Nm | kNm |
| عزم الدوران البادئ للحركة | (pull-up torque) $M_p$ | Nm | kNm |
| عزم الدوران الانهياري | (breakdown torque) $M_B$ | Nm | kNm |
| الشغل (الميكانيكي) | (mechanical work) W | Nm | |
| القدرة، القدرة الاسمية | (power, nominal power) P, $P_N$ | $\frac{Nm}{s}$ | W, J/s, MNm/s, kNm/s, |
| | | | GW, MW, kW |
| الضغط | (pressure) p | (Pa=) $N/m^2$ | $daN/cm^2$, $N/cm^2$, bar |
| اجهاد الشد أو الضغط | (tensile, compressive stress) σ | (Pa=) $N/m^2$ | $kN/cm^2$, $N/cm^2$, $kN/mm^2$, $N/mm^2$, |
| اجهاد القص أو اللّيّ | (shear stress) τ | (Pa=) $N/m^2$ | $N/cm^2$, $kN/mm^2$, $N/mm^2$ |

| الـكمية | رموز الصيغ الرياضية | الوحدة (SI) | مضـاعفات وأجزاء الوحدة |
| --- | --- | --- | --- |
| الـكثافة | (density) $\varrho$ | $kg/m^3$ | $t/m^3$, $kg/dm^3$, $g/cm^3$ |
| الوزن النوعي | (specific weight) $\gamma$ | $N/m^3$ | $kN/dm^3$, $N/cm^3$ |
| ارتفاع التصريف | (head) h | m | |
| **الـكميات الحرارية** | | | |
| درجة الحرارة | (temperature) T, $\Theta$ | K | °C |
| كمية الحرارة | (heat quantity) Q | (Ws=) J | kWh, Wh, kJ |
| السعة الحرارية النوعية | (specific heat capacity) c | (Ws/kgK=) J/kgK | kWs/kgK, kJ/kgK |
| المعامل الحراري لتغيّر المقاومة الـكهربائية | (thermal coefficient of electrical resistance) $\alpha$ | 1/K | 1/°C |
| **كميات هندسة الاضـاءة** | | | |
| التدفّق الضوئي | (light flux) $\Phi$ | lm | Mlm, klm |
| شدّة الإضـاءة | (illumination intensity) E | lx | klx |
| **الـكميات المغنطيسية** | | | |
| التدفّق المغنطيسي | (magnetic flux) $\Phi$ | Wb | mVs, $\mu$Vs, Vs |
| شدّة المجال المغنطيسي | (intensity of magnetic field) H | A/m | A/mm |
| المحاثّة | (inductance) L | H | |
| الانفاذية | (permeability) $\mu$ | (Vs/Am=) H/m | $\mu$H/mm |
| ثابت المجال المغنطيسي | (magnetic field constant) $\mu_o$ | (Vs/Am=) H/m | $\mu$H/mm |
| كثافة التدفّق المغنطيسي | (density of magnetic flux) B | $(Vs/m^2=)$ T | $Vs/mm^2$, $Wb/m^2$ |
| المواصلة المغنطيسية | (magnetic conductance) $\Lambda$ | (Vs/A=) H | $\mu$H |
| **الـكميات الـكهربائية** | | | |
| **أ - الـكميات الأسـاسية** | | | |
| شدّة التيار الـكهربائي | (electric current intensity) I | A | mA, $\mu$A |
| الجهد الـكهربائي | (electric voltage) U | V | kV, mV, $\mu$V |
| المقاومة الـكهربائية | (electric resistance) R | $\Omega$ | M$\Omega$, k$\Omega$ |
| المواصلة الـكهربائية | (electric conductance) G | S | kS, mS, $\mu$S |
| الموصّلية الـكهربائية | (electric conductivity) $\varkappa$ | S/m | $\frac{Sm}{mm^2}$, $\frac{m}{\Omega mm^2}$, S/cm |
| المقاومة الـكهربائية النوعية | (specific electric resistance) $\varrho_{20}$ | $\Omega$m | $\mu\Omega mm^2/m$, $\mu\Omega$m, $\Omega$cm |
| كثافة التيار الـكهربائي | (electric current density) S | $A/m^2$ | $A/mm^2$ |
| وصلية التدفّق المغنطيسية | (magnetic linkage flux) $\Theta$ | A | mA |
| كمية الـكهرباء ، الشحنة الـكهربائية | (electric charge) Q | (As=) C | |
| كثافة الشحنات | (electric flux density) D | $(As/m^2=)$ $C/m^2$ | |
| شدّة المجال الـكهربائي | (electric field intensity) E | (N/As=) V/m | V/mm |
| السعة الـكهربائية | (electric capacity) C | (As/V=) F | pF, nF, $\mu$F |
| ثابت العازل الـكهربائي | (dielectric constant) $\varepsilon$ | F/m | |
| ثابت المجال الـكهربائي | (electric field constant) $\varepsilon_o$ | F/m | |
| القوة الدافعة الـكهربائية | (electromotive force) E | V | mV |
| جهد الأطراف | (terminal voltage) $U_{ter}$ | V | mV |
| الشغل الـكهربائي | (electrical work) W | Ws | kWh, Wh |
| القدرة | (power) P | W | GW, MW, kW, mW |
| مقاومة سـاخنة | (hot resistance) $R_h$ | $\Omega$ | |

| الـكمية | رموز الصيغ الرياضية | الوحدة (SI) | مضاعفات وأجزاء الوحدة |
|---|---|---|---|
| **ب - الـكميات الفرعية** | | | |
| المقاومة الباردة | (cold resistance) $R_c$ | Ω | |
| مقاومة توال | (series resistance) $R_s$ | Ω | |
| مقاومة تواز | (parallel resistance) $R_p$ | Ω | |
| المقاومة الـكلّية | (total resistance) $R_t$ | Ω | |
| مقاومة داخلية | (internal resistance) $R_i$ | Ω | |
| مقاومة خارجية | (external resistance) $R_{ex}$ | Ω | |
| مقاومة الفرش | (brushes resistance) $R_B$ | Ω | |
| مقاومة البطارية | (battery resistance) $R_b$ | Ω | |
| مقاومة اسنادية (للمقارنة) | (reference resistance) $R_r$ | Ω | |
| مقاومة لفيفة الأقطاب | (pole winding resistance) $R_{pole}$ | Ω | |
| مقاومة لفائف المعادلة | (compensation winding resistance) $R_{c.w.}$ | Ω | |
| مقاومة لفائف عضو الإنتاج | (armature winding resistance) $R_a$ | Ω | |
| مقاومة متغيّرة | (variable resistance) $R_v$ | Ω | |
| مقاومة الموصّل | (conductor resistance) $R_{cond.}$ | Ω | |
| مقاومة الموقع | (place-resistance) $R_p$ | Ω | |
| مقاومة اطاريّة | (loop resistance) $R_l$ | Ω | |
| مقاومة المحرّك | (motor resistance) $R_{mot}$ | Ω | |
| مقاومة الملف | (coil resistance) $R_{coil}$ | Ω | |
| مقاومة الخلل | (fault resistance) $R_F$ | Ω | |
| مقاومة اختبار | (test resistance) $R_T$ | Ω | |
| مقاومة تدحرج | (rolling resistance) $R_r$ | Ω | |
| مقاومة تأريض مساعد | (auxiliary earth res.) $R_{ea}$ | Ω | |
| مقاومة وقاية | (protection resistance) $R_{pr}$ | Ω | |
| تيار الفرع | (branch current) $I_b$ | A | |
| تيار مقاومة توازٍ | (parallel connection current) $I_p$ | A | |
| التيار الـكلّي | (total current) $I_t$ | A | |
| تيار دائرة القصر | (short circuit current) $I_{sh}$ | A | |
| تيار البدء | (starting current) $I_{st}$ | A | |
| تيار الاثارة | (exciting current) $I_{exc}$ | A | |
| تيار معترض | (cross current) $I_c$ | A | |
| تيار الفصل | (breaking current) $I_{Br}$ | A | |
| تيار الإطلاق (الاعتاق) | (releasing current) $I_R$ | A | |
| تيار أمامي | (forward current) $I_f$ | A | |
| تيار الحجز | (holding current) $I_H$ | A | |
| تيار الخلل | (fault current) $I_F$ | A | |
| جهد كلي | (total voltage) $U_t$ | V | |
| جهد الموصّل | (conductor voltage) $U_c$ | V | |
| جهد التفريغ المتوسط | (mean discharging voltage) $U_{dm}$ | V | |
| جهد الشحن المتوسط | (mean charging voltage) $U_{chm}$ | V | |
| جهد الاثارة | (exciting voltage) $U_{exc}$ | V | |
| الجهد الأعلى | (highest voltage) $U_H$ | V | |
| الجهد الأدنى | (lowest voltage) $U_L$ | V | |
| جهد عكسي (مضاد) | (inverse voltage) $U_{inv}$ | V | |
| جهد الانهيار | (breakdown voltage) $U_B$ | V | |
| جهد الخلل | (fault voltage) $U_F$ | V | |
| جهد التلامس (اللمس) | (contact voltage) $U_{cont.}$ | V | |
| الجهد الاسمي | (nominal voltage) $U_N$ | V | |

| الـكمية | رموز الصيغ الرياضية | الوحدة (SI) | مضـاعفات وأجزاء الوحدة |
|---|---|---|---|
| مفقودات القدرة | (power losses) $P_l$ | W | kW |
| القدرة المعطاة (الداخلة) | (input power) $P_i$ | W | var, kVA, VA, kW , kvar |
| القدرة المستفادة | (output power) $P_o$ | W | var, kVA, VA, kW, kvar |
| مكثف البدء | (starting condenser) $C_{st}$ | F | |
| مكثف التشغيل | (operating condenser) $C_{op}$ | F | |
| **ج - كميات التيار المتردّد وكميات الشبكة** | | | |
| تيار الطور (الوجه) | (phase current) $I_{ph}$ | A | |
| جهد الطور (الوجه) | (phase voltage) $U_{ph}$ | V | |
| جهد نقطة التفرّع النجمي | (star point voltage) $U_Y$ | V | |
| التيار الفعّال | (active current) $I_a$ | A | |
| التيار المفاعل | (reactive current) $I_r$ | A | |
| الجهد الفعّال | (active voltage) $U_a$ | V | |
| الجهد المفاعل | (reactive voltage) $U_r$ | V | |
| مقاومة فعّالة | (active resistance) $R_a$ | Ω | |
| المفاعلة | (reactance) X | Ω | |
| المعاوقة | (impedance) Z | Ω | |
| القدرة الفعّالة | (active power) P | W | kW |
| القدرة المفاعلة | (reactive power) Q | W | kW, VA, kVA, var, kvar |
| القدرة الظاهرية | (apparent power) S | W | kW, VA, kVA, var, kvar |
| **أعداد وكميات مختلفة** | | | |
| معامل الاحتكاك | (friction coefficient) $\mu$ | | |
| الـكفاية | (efficiency) $\eta$ | | |
| عدد الأسنان | (number of teeth) z | | |
| نسبة نقل الحركة (السرعة) (للادارة الميكانيكية) | (transmission ratio) i | | |
| عدد لفّات الملف | (no. of windings [turns]) N | | |
| نسبة التحويل (للمحولات) | (transformation ratio) $t_r$ | | |
| ثابت العازل النسبي | (relative dielectric constant) $\varepsilon_r$ | | |
| الانفاذية النسبية | (relative permeability) $\mu_r$ | | |
| عدد أزواج الأقطاب | (no. of pole pairs) p | | |
| معامل تضخيم التيار المستمر | (D.C. amplification factor) B | | |
| معامل تضخيم التيار المتردد | (A.C. amplification factor) $\beta$ | | |
| معامل موازنة (استقرار) | (stabilization factor) S | | |
| معامل الفصل | (switch-off factor) K | | |
| اتساع فتحة المفتاح | (wrench size) SW | | |
| مخروط | (cone) C | | |
| نصف قطر القاعدة | (base radius) $r_B$ | | |
| نصف قطر الانتفاخ | (bulge radius) $r_b$ | | |
| الفائدة | (interest) I | | |
| رأس المـال | (capital) C | | |
| سعر الفائدة | (percentage %=rate of interest) p | | |
| القيمة (المبلغ) الأسـاسية (القيمة المنسوب إليها) | (basic value) b | | |
| قيمة النسبة المئوية | (value of percentage) v | | |
| ثابت العداد | (counter constant) $C_c$ | | |
| ملف نجمي مزدوج | (double star coil) DSC | | |
| السرعة الابتدائية | (initial speed) $n_B$ | | |

| الكمية | رموز الصيغ الرياضية | الوحدة (SI) | مضاعفات وأجزاء الوحدة |
|---|---|---|---|
| السرعة النهائية | (final speed) $n_E$ | | |
| مكثّف توهين | (smoothing condenser) $C_s$ | | |
| محاثة مرشِّح | (filter inductor) $L_f$ | | |
| مكثّف مرشِّح | (filter condenser) $C_f$ | | |
| الجهد الحدي (جهد الوصل) | (threshold voltage) $U_s$ | | |
| درجة الحرارة المحيطة | (ambient temperature) $t_a$ | | |

| عربي | ألماني | انجليزي | رقم الصفحة |
|---|---|---|---|
| «أ» | | | |
| اتّجاه النفاذ (أمامي) | Durchlaßrichtung | forward direction | ١٥٦ |
| إثارة | Erregung | excitation | ٨٠ |
| إثارة خارجية (منفصلة) | Fremderregung | separate excitation | |
| أجر | Lohn | wage | ٩ |
| أجر إجمالي | Bruttolohn | gross wage | ١٤ |
| إجراء وقاية من خطر التلامس | Berührungsschutzmaßnahme | contact-safety precaution | ١٦٥ |
| إجهاد شد | Zugspannung | tensile stress | ١٦٩ |
| إجهاد ضغط | Druckspannung | compressive stress | ١٦٩ |
| إحصائيات الحوادث | Unfallstatistik | accident statistics | ٥ |
| اختبار مقاومة العزل | Isolationswiderstandsprüfung | insulation resistance test | ١٦٥ |
| اختصر (اختزل) | kürzen | to reduce | ٦ |
| اختيار المقطع | Querschnittswahl | cross-section choice | ٥٢، ٧٤، ١٤٠، ١٤٢ |
| إدارة (تشغيل) | Antrieb | drive | ٨٠ |
| إدارة (تشغيل) بالتروس | Zahnradantrieb | gear drive | ١٣٨ |
| إدارة (تشغيل) بالعجلات | Räderantrieb | wheel drive | ١٣٨ |
| إدارة بسير مسطّح | Flachriemenantrieb | flat belt drive | ١٣٦ |
| إدارة بسير حرف - V (مخروطي) | Keilriemenantrieb | V-belt drive | ١٣٦ |
| إدارة بالسيور | Riemenantrieb | belt drive | ١٣٦ |
| إدارة بالدودة والترس الدودي | Schneckenantrieb | worm gear and worm drive | ١٣٨ |
| ارتفاع | Höhe | height | ١٦، ٤٢ |
| ارتفاع السقوط (هيدرولي) | Gefällhöhe | head | ١٢١ |
| ارتفاع النقل (الرفع) | Förderhöhe | conveying height | ١٣٤ |
| أرضيّة | Fußboden | floor | ١٣ |
| إزاحة الطّور | Phasenverschiebung | phase displacement | ٩٠، ١٣٠ |
| ازدياد | Zunahme | increase | ٥ |
| استقرار (موازنة) الجهد | Spannungsstabilisierung | voltage stabilization | ١٥٩ |
| أسمنت | Zement | cement | ١٣ |
| اشتقاق | Ableitung | derivation | ١٨ |
| إشارة (علامة) | Vorzeichen | sign | |
| أقرض | ausleihen | to lend | ١٥ |
| أمبير | Ampère | ampere | ٤٤ |
| التناسب (حساب التناسب) | Dreisatz | rule of proportion | ١٢ |
| أمد (فترة زمنية) | Zeitspanne | duration (time interval) | ١٦٩ |
| إمداد بثلاثة موصّلات لتيار ثلاثي الأطوار | Drehstromdreileiterversorgung | three-phase three-conductors supply | ١٤٢ |
| أنبوبة (ماسورة) | Rohr | tube (pipe) | ١٣ |
| انتشار | Ausbreitung | propagation (diffusion) | ١٦٧ |
| إنفاذية | Permeabilität | permeability | ٨٠ |
| إنفاذية نسبيّة | relative Permeabilität | relative permeability | ٨٠ |
| إيجار | Miete | rent | ١٥ |
| «ب» | | | |
| بادئ الحركة | Anlasser | starting rheostat | ١١١ |
| بادئة الوحدة | Vorsatz zur Einheit | prefix of unit | ٢٦ |
| باقي | Rest | rest | ٨ |
| برميل | Faß | barrel | ٤٠ |

| عربي | ألماني | انجليزي | رقم الصفحة |
| --- | --- | --- | --- |
| بسط | Dividend | dividend | ٦ |
| بكارة | Flaschenzug | tackle | ٣٨ |
| بكرة سير | Riemenscheibe | belt pulley | ١٣٧ |
| بوصة | Zoll | inch | ٢٨ |
| بيانات مميّزة | Kenndaten | characteristic data | ١٦٢ |
| «ت» | | | |
| تأريض (معادلة) | Nullung (Erdung) | earthing (grounding) | ١٦٧ |
| تأريض وقاية | Schutzerdung | protection grounding | ١٦٦ |
| تبديل الصيغ الرياضية | Umstellen von Formeln | changing over (reformulation) of formulas | ٢٠ |
| تحديد - تعيين | Ermittlung | determination | ٨ |
| تحكّم رأسي | Vertikalsteuerung | vertical control | ١٦٤ |
| تحليل كهربائي | Elektrolyse | electrolysis | ٧٨ |
| تحويل الجهد | Spannungswandlung | voltage transformation | ١١٦ |
| تحويل التيّار | Stromwandlung | current transformation | ١١٦ |
| تدفق ضوئي | Lichtstrom | light flux | ١٤٨ |
| تدفق مغنطيسي | magnetischer Fluß | magnetic flux | ٨٠ |
| تراكم | Ansammlung | accumulation | ١٥ |
| ترانزستور | Transistor | transistor | ١٦١ |
| تراوح | Schwankung | fluctuation | ١٦٠ |
| تربة | Boden | soil | ١٣ |
| تردُّد | Frequenz | frequency | ٩٠، ١١٢ |
| تردُّد (سرعة دوران) العضو الدوّار | Läuferfrequenz | rotor speed | ١٢٦ |
| تردُّد زاوي | Kreisfrequenz | angular frequency | |
| ترس (عجلة مسنّنة) | Zahnrad | gear wheel | ١٣٨ |
| تسارع (عجلة) | Beschleunigung | acceleration | ٣٦ |
| تسلا | Tesla | Tesla | ١٦١ |
| تسمية (تعريف) | Benennung | designation (definition) | ٤ |
| تسوية (توهين) | Glättung | smoothing | ١٥٤ |
| تشغيل بمحرّك كهربائي | elektromotorischer Antrieb | electromotor drive | ١٣٤ |
| تشغيل المحوّلات على التوازي | Parallelbetrieb von Transformatoren | parallel-working of transformers | ١٢٤ |
| تعريفة (سعر) الطاقة | Energietarif | energy tariff (rate) | ٧٠ |
| تعويض - معادلة | Kompensation | compensation | ٩٨ |
| تعيين (تحديد) المقاومة | Widerstandsbestimmung | determination of resistance | ١٥٢ |
| تغيُّر التدفق | Flußänderung | change of flux | ٨٤ |
| تغيُّر المقاومة | Widerstandsänderung | change of resistance | ٥٨ |
| تفويت (انزلاق) | Schlupf | slip | ١٢٦ |
| تقاصُر | Verzögerung | deceleration (retardation) | ٣٦ |
| تقريب | Runden (Auf- oder Abrunden) | rounding (off or out) | ٤ |
| تقويم نصف الموجة | Einweggleichrichtung | half-wave rectification | ١٥٤ |
| تكاليف | Kosten | costs | ٥ |
| تكاليف الطاقة | Energiekosten | energy costs | ٧٠ |
| تكاليف سنويّة | Jahreskosten | annual costs | ٥ |
| تكاليف كلّية | Gesamtkosten | total costs | ٥ |
| تمثيل | Darstellung | representation | ١٥٧ |
| تموُّج متبقّ (باقٍ) | Restwelligkeit | rest waviness (ripple) | ١٦٤ |
| تناسب | Proportion | proportion | ٢٢ |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ١٣ | direct proportionality | direkte Proportionalität | تناسب طردي |
| ١٣ | indirect proportionality | indirekte Proportionalität | تناسب عكسي |
| ١٠٢ | delta connection interlinking | Dreieckverkettung | توحيد (ترابط) التوصيل المثلثي |
| ١٢١ | impulse turbine | Freistrahlturbine | توربين دفعي |
| ١٤٦ | current distribution | Stromverteilung | توزيع التيار |
| ١٥٠ | extension of measuring range | Meßbereicherweiterung | توسيع (زيادة) مجال القياس |
| ٧٨ | battery connection | Batterieschaltung | توصيل البطارية |
| ٨٦ | condensers' connection | Kondensatorschaltung | توصيل المكثفات |
| ٩٦ | A.C. parallel circuits | Parallelschaltung für Wechselstrom | توصيل على التوازي للتيار المتردِّد |
| ٦٠ | D.C. series circuits | Reihenschaltung für Gleichstrom | توصيل على التوالي للتيار المستمر |
| ١٢٢ | delta connection | Dreieckschaltung | توصيل مثلثي (توصيل دلتا) |
| ٩٦ | parallel-series or complex connection for alternating current | gemischte Schaltung für Wechselstrom | توصيل مركّب (مختلط) للتيار المتردِّد |
| ١٠٢ | star connection | Sternschaltung | توصيل نجمي |
| ٨٤ | voltage (potential) generation | Spannungserzeugung | توليد الجهد |
| ١٥٩ | break-down current | Durchbruchstrom | تيار الإنهيار |
| ١٢٨ | starting current | Anlasserstrom | تيار البدء |
| ١١٤ | starting current | Anlaufstrom | تيار بدء (الدوران) |
| ١٦٧ | fault current | Fehlerstrom | تيار الخلل |
| ٩٩ | retaining or holding current | Haltestrom | تيار الحفظ |
| ٧٨ | charging current | Ladestrom | تيار الشحن |
| ١٦٦ | switching-off current | Abschaltstrom | تيار الفصل |
| ١٦١ | base current | Basisstrom | تيار القاعدة |
| ١٦١ | collector current | Kollektorstrom | تيار المجمّع |
| ١٥٦ | forward current | Durchlaßstrom | تيار أمامي (النفاذ) |
| ٦٤ | branch current | Zweigstrom | تيار فرعي |
| ١٠٠ | active (effective) current | Wirkstrom (Effektivstrom) | تيار فعّال |
| ٩٦ | reactive current | Blindstrom | تيار مفاعل |
| | | | «ث» |
| ٨٦ | dielectric constant | Dielektrizitätskonstante | ثابت العازل |
| ٧٠ | counter constant | Zählerkonstante | ثابت العدّاد |
| ١٧٠ | relative dielectric constant | Dielektrizitätszahl | ثابت العزل النسبي |
| ١٧٠ | electric field constant | elektrische Feldkonstante | ثابت المجال الكهربائي |
| ١٧٠ | magnetic field constant | magnetische Feldkonstante | ثابت المجال المغنطيسي |
| ١٦٣ | thyristor | Thyristor | ثايرستور |
| ٨٢ | air gap | Luftspalt | ثغرة هوائية |
| | | | «ج» |
| ١٦ | algebra | Buchstabenrechnen (Algebra) | جبر (حساب بالحروف الأبجدية) |
| ٢٥ | table (of figures) | Zahlentafel | جدول أعداد |
| ٢٤ | root | Wurzel | جذر |
| ٢٥ | square root | Quadratwurzel | جذر تربيعي |
| ٤ | addition | Addition | جَمْع |
| ٤٥ | multimeter | Vielfachmeßgerät | جهاز قياس متعدّد الأغراض |
| ١٠٦ | terminal voltage | Klemmenspannung | جهد الأطراف |
| ١٦٣ | breakover voltage | Kippspannung | جهد الإنقلاب |
| ١٥٦ | breakdown voltage | Durchbruchspannung | جهد الإنهيار |
| ١٦٨ | contact potential | Berührungsspannung | جهد التلامس |
| ١٥٦ | inverse (blocking) voltage | Sperrspannung | جهد الحجز (الجهد العكسي) |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ١٥٤ | nominal inverse voltage | Nennsperrspannung | جهد الحجز الإسمي |
| ١٦٥ | fault voltage | Fehlerspannung | جهد الخلل |
| ٦٠ | open-circuit voltage | Leerlaufspannung | جهد الدائرة المفتوحة |
| ١٦٥ | phase voltage | Strangspannung | جهد الطور (الوجه) |
| ١٢٤ | short-circuit voltage | Kurzschlußspannung | جهد دائرة القصر |
| ١٥٦ | forward voltage | Durchlaßspannung | جهد أمامي (النفاذ) |
| ١١٥ | operating voltage | Betriebsspannung | جهد تشغيل |
| ٩٠ | sine-form alternating voltage | sinusförmige Wechselspannung | جهد جيبي متردِّد |
| ١٠٠ | active (effective) voltage | Wirkspannung (Effektivspannung) | جهد فعّال |
| ١٦ | voltage | elektrische Spannung | جهد كهربائي |
| ٩٠ | alternating voltage (potential) | Wechselspannung | جهد متردِّد |
| ١٠٢ | three-phase alternating potential | Dreiphasenwechselspannung | جهد متردِّد ثلاثي الأطوار |
| ٩٤ | reactive voltage | Blindspannung | جهد مفاعل |
| ١٧٠ | neutral (star point) voltage | Sternpunktspannung | جهد نقطة التفرّع النّجمي |
| ٧٤ | Joule | Joule | جول |
| ١٤ | sine (sin.) | Sinus | جيب (جا) |
| ٨٨ | cosine (cos.) | Cosinus | جيب تمام (جتا) |
| | | | «ح» |
| ٤٥ | light barrier | Lichtschranke | حاجز إضـاءة |
| ٨٤ | induction | Induktion | حث (تأثير) |
| ٨٤ | self-induction | Selbstinduktion | حث (تأثير) ذاتي |
| ٣٢ | volume | Volumen | حجم |
| ١٤ | calculation of interests | Zinsrechnung | حساب الأرباح (الفوائد) |
| ١٨ | calculation with brackets | Klammerrechnen | حساب الأقواس |
| ٤ | addition and subtraction calculation | Strichrechnen | حساب الجمع والطَّرح |
| ١٦ | calculation by formulas | Formelrechnen | حساب بالصِّيغ الرياضيّة |
| ٣٠ | calculation of areas | Flächenberechnung | حساب المساحات |
| ١٤ | percent calculation | Prozentrechnen | حساب النسبة المئوية |
| ١ | technical calculation | Fachrechnen | حساب فنّي |
| ١٥٧ | arithmetic | arithmetisch | حسابي |
| ٣٠ | circular ring | Kreisring | حلقة دائرية |
| ١٤٢ | alternating current load | Wechselstromlast | حمل تيار متردِّد |
| | | | «خ» |
| ٤ | quotient | Quotient | خارج القسمة |
| ٣٨ | mechanical property | mechanische Eigenschaft | خاصيّة ميكانيكية |
| ٥ | place | Stelle | خانة |
| ٤ | rounding place (decimal) | Rundstelle | خانة التّقريب |
| ٤ | decimal place | Dezimalstelle | خانة عشريّة |
| ١٢١ | pump storage reservoir | Pumpspeicherbecken | خزّان ضخ |
| ١٥٠ | indication error | Anzeigefehler | خطأ البيان (القراءة) |
| ٧١ | feed line | Zuleitung | خط تغذية |
| ٥١ | socket connection | Steckdosenleitung | خط توصيل المقبس |
| ١٤٢ | stub cable | Stichleitung | خط توصيل ذو حمل عند نهايته |
| ١٤٨ | planning of illumination | Beleuchtungsplanung | خطة الإضاءة |
| ١٤١ | plan of conductor installation | Leitungsinstallationsplan | خطة تركيب خطوط التوصيل |
| ٣٥ | pitch of coil | Wendelabstand | خطوة اللف |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| | | | «د» |
| ١٦١ | emitter connection | Emitterschaltung | دائرة الباعث |
| ٩٤ | oscillatory circuit | Schwingkreis | دائرة تذبذب |
| ٤٧ | short circuit | Kurzschluß | دائرة قصر |
| ١٦٦ | FU protection circuit | FU-Schutzschaltung | دائرة FU للوقاية من جهد الخلل |
| ٨٢ | magnetic circuit | Magnetkreis | دائرة مغنطيسية |
| ٨٢ | compound magnetic circuit | zusammengesetzter Magnetkreis | دائرة مغنطيسية مركّبة |
| ٨٨ | trigonometric function | Winkelfunktion | دالّة مثلّثية |
| ١٦٣ | four-layer diode | Vierschichtdiode | دايود رباعي الطبقات |
| ١٥٧ | Zener diode | Zenerdiode | دايود زينر |
| ١٤٠ | limiting temperature | Grenztemperatur | درجة الحرارة الحديّة |
| ١٦ | centigrade | Celsius | درجة (حرارة) مئويّة |
| ٣٥ | dowel | Dübel | دسار (خابور) |
| ٤٢ | accuracy of measurement | Meßgenauigkeit | دقة القياس |
| ١٦ | index | Index | دليل |
| ١٢٨ | rotor with slip-rings | Schleifenringläufer | دوّار ذو حلقات انزلاقيّة |
| ١٢٦ | short-circuit rotor | Kurzschlußläufer | دوّار مقصّر الدائرة |
| | | | «ذ» |
| ٣٨ | lever arm | Hebelarm | ذراع رافعة |
| | | | «ر» |
| ١٤ | capital | Kapital | رأس المـال |
| ١٥ | salary | Gehalt | راتب |
| ٩ | profit | Gewinn | ربح |
| ٦ | quarter | Viertel | رُبع |
| ٢٨ | navigation | Seefahrt | رحلة (ملاحة) بحريّة |
| ٢٨ | flight | Luftfahrt | رحلة جويّة |
| ١٢٤ | vector diagram | Vektorbild | رسم (مخطّط) المتجهات |
| ١٥ | credit (balance) | Guthaben | رصيد |
| ١٥ | savings account | Sparguthaben | رصيد التوفير |
| | place number | Stellenzahl | رقم الخانة |
| ٤ | decimal figure | Dezimalzahl | رقم عشري |
| ١٤ | symbol | Kurzzeichen | رمز - علامة |
| ٤ | calculation symbol | Rechenzeichen | رمز حساب |
| ١٦ | symbols of the formulas | Formelzeichen | رموز الصِّيغ الرياضيّة |
| ٩٦ | resonance | Resonanz | رنين |
| ٩٤ | series resonance | Reihenresonanz | رنين التوالي |
| ١٤ | yield (profit, return) | Ertrag | ريع (حصيلة) |
| | | | «ز» |
| ٣٦ | angle | Winkel | زاوية |
| ٩١ | displacement angle | Verschiebungswinkel | زاوية الإزاحة |
| ١٣٦ | contact angle (of belt) | Umschlingungswinkel | زاوية التماس (السّير) |
| ١٦٤ | phase angle | Phasenwinkel | زاوية الطّور |
| ١٦٤ | angle of phase intersection | Phasenschnittwinkel | زاوية تقاطع الطّور |

| عربي | ألماني | انجليزي | رقم الصفحة |
|---|---|---|---|
| زمن – وقت | Zeit | time | ١٥ |
| زمن التسخين | Aufheizzeit | heating time | ٧٥ |
| زمن الذبذبة (الدورة) | Periodendauer | period time (time of oscillation) | ٩١ |
| زمن السّفر | Fahrzeit | driving time | ١٣ |
| زمن الطيران | Flugzeit | flying time | ١٣ |
| زيادة (ارتفاع) | Erhöhung | increase | ١٤ |
| «س» | | | |
| سدَّد | ausbezahlen | to pay in full | ١٤ |
| سرعة | Geschwindigkeit | speed (velocity) | ٣٦ |
| سرعة الدوران | Drehgeschwindigkeit | speed of rotation | ٣٦ |
| سرعة دوران المجال | Felddrehzahl | field rotational speed | ١١٥ |
| سرعة دوران متزامنة | synchrone Drehzahl | synchronous rotational speed | ١٢٦ |
| سرعة زاويَّة | Winkelgeschwindigkeit | angular velocity | ٣٦ |
| سرعة محيطيَّة | Umfangsgeschwindigkeit | circumferential velocity | ٨٨ |
| سطح | Oberfläche | surface | ٣٢ |
| سعر الشراء | Kaufpreis | buying price | ١١ |
| سعر الفائدة | Zinsfuß | rate of interest | ١٤ |
| سعة | Kapazität | capacity | ٧٨ |
| سعة حراريّة نوعيّة | spezifische Wärmekapazität | specific heat, thermal capacity | ٧٤ |
| سلك لف (ملف) | Wickeldraht | winding wire | ٣٥ |
| سير رفع (نقل) | Förderband | conveyor belt | ١٣٥ |
| سيمنز | Siemens | Siemens | ٤٦ |
| «ش» | | | |
| شحنة كهربائية | elektrische Ladung | electric charge | ٨٦ |
| شدّة الإضاءة | Beleuchtungsstärke | intensity of illumination | ١٤٨ |
| شدّة المجال الكهربائي | elektrische Feldstärke | intensity of electric field | ٨٦ |
| شدّة تيار الطور (الوجه) | Strangstromstärke | phase current intensity | ١٧٠ |
| شرطة كسر | Bruchstrich | fraction line | ٤ |
| شريط تسخين | Heizband | heating tape | ٣٣ |
| شغل كهربائي | elektrische Arbeit | electric work | ٧٨ |
| شغل ميكانيكي | mechanische Arbeit | mechanical work | ٣٨ |
| شكل | Abbildung | figure | ٤٠ |
| «ص» | | | |
| صعود (انحدار – ميل) | Steigung | inclination | ١٣ |
| صورة | Bild | picture | ٤١ |
| صيغة رياضية | Formel | formula | ١٦ |
| «ض» | | | |
| ضَرْب | Multiplikation | multiplication | ٤ |
| ضَغْط | Druck | pressure | ١٦ |
| «ط» | | | |
| طرح (عملية طرح) | Subtraktion | subtraction | ٤ |
| طردي | gerade | direct | ١٢ |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ٢٨ | length | Länge | طول |
| ٣٤ | winding length | Windungslänge | طول اللفيفة |
| ٩١ | wave length | Wellenlänge | طول الموجة |
| | | | «ظ» |
| ٨٨ | tangent (tan.) | Tangens | ظل (ظا) |
| ٨٨ | cotangent (cot.) | Cotangens | ظل تمام (ظتا) |
| | | | «ع» |
| ٣٤ | space factor | Füllfaktor | عامل الحيز (لملء المعدن) |
| ٦ | counter (meter) | Zähler | عدّاد |
| ٧٠ | electric counter (meter) | Elektrizitätszähler | عدّاد كهربائي |
| ١٤ | number (quantity) | Anzahl | عدد (مقدار) |
| ١٧٠ | number of pole pairs | Polpaarzahl | عدد أزواج الأقطاب |
| ٢٤ | basic number | Grundzahl | عدد أساسي |
| ١٣٨ | number of teeth | Zähnezahl | عدد الأسنان |
| ١٦ | revolutions per minute (r.p.m.) | Drehzahl | عدد الدورات في الدقيقة |
| ١٧٠ | number of windings | Windungszahl | عدد اللفات (للفيفة) |
| ٤ | integral number | ganze Zahl | عدد صحيح |
| ٦ | heterogeneous number | gemischte Zahl | عدد صحيح وكسر |
| ١٦ | width | Breite | عرض |
| ٧٧ | insulation (isolation) | Isolierung | عزل |
| ١٤٢ | current moment | Strommoment | عزم التيّار |
| ٣٦ | torque | Drehmoment | عزم الدّوران |
| ١١٤ | starting torque | Anzugsmoment | عزم الدّوران البدئي |
| ١٢٦ | pull-up torque | Sattelmoment | عزم الدّوران بادئ الحركة |
| ١٣٣ | nominal torque | Nenndrehmoment | عزم دوران إسمي |
| ١٣٤ | motor torque | Motordrehmoment | عزم دوران المحرّك |
| ١٢٦ | break down torque | Kippmoment | عزم دوران انهياري |
| ١١٠ | armature | Anker | عضو إنتاج |
| ١١٤ | cage rotor | Käfigläufer | عضو دوّار بقفص سنجاب |
| ١٦ | equality sign (equal mark) | Gleichheitszeichen | علامة التساوي |
| ١١ | can (canister) | Kanister | علبة |
| ٥١ | branch box (junction box) | Abzweigdose | علبة (صندوق) تفريع |
| ١٥٠ | metrology | Meßkunde | علم القياس |
| ٤ | elementary operations of arithmetic | Grundrechenarten | عمليات الحساب الأساسية |
| ٤ | multiplication and division calculations | Punktrechnen | عمليات الضرب والقسمة (النقط) |
| ١٣٥ | tow winch | Schleppwinde | عيّار (ونش) - مرفاع |
| | | | «غ» |
| ٧٢ | water heater (boiler) | Heißwasserbereiter (Boiler) | غلّاية (مسخّن ماء) |
| | | | «ف» |
| ١٤ | interest | Zins | فائدة |
| ٨٦ | Farad | Farad | فاراد |
| ١٢٨ | relative duration of connection | relative Einschaltdauer | فترة الوصل النسبية |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ٤٧ | conducting filament | Leuchtfaden | فتيلة إضاءة |
| ٦٧ | heating filament (coiled) | Heizwendel | فتيلة (لفيفة) تسخين |
| ٧٧ | heating wire | Heizdraht | فتيلة (سلك) تسخين |
| ١٢ | assumption | Behauptung | فرض |
| ٤ | difference | Differenz | فرق |
| ١٤٢ | potential difference | Spannungsunterschied | فرق الجهد |
| ١٣ | furnace | Ofen | فرن |
| ١٣ | blast furnace | Hochofen | فرن عالٍ |
| ٣٩ | friction loss | Reibungsverlust | فقد الاحتكاك |
| ٨٣ | hysteresis loss | Hysteresisverlust | فقد التّخلّفية |
| ٦٠ | potential loss | Spannungsverlust | فقد الجهد |
| ١٨ | resolve | auflösen | فكّ |
|  | additional interest | Zinszuschlag | فوائد إضافية |
| ٨٠ | volt-second | Voltsekunde | ڤولط – ثانية |
| ٣٠ | Pythagoras | Pythagoras | فيثاغوراس |
|  |  |  | «ق» |
| ١٥ | rule | Regel | قاعدة |
| ١٣ | stationary base | Sockel | قاعدة ، أساس |
| ٥١ | screw clamp | Schraubenklemme | قامطة ذات لولب |
| ٤٦ | Ohm's law for D.C. | Ohmsches Gesetz für Gleichstrom | قانون أوم للتيار المستمر |
| ٥٠ | nominal power | Nennleistung | قدرة إسمية |
| ٥٠ | heating capacity | Heizleistung | قدرة التسخين |
| ١٣٤ | full-load power of the motor | Motor-Vollastleistung | قدرة الحمل الكامل للمحرك |
| ٩٨ | apparent power | Scheinleistung | قدرة ظاهريّة |
| ٩٨ | active (effective) power | Wirkleistung | قدرة فعّالة |
| ٩٨ | reactive power | Blindleistung | قدرة مفاعلة |
| ١٥ | loan | Anleihe | قرض |
| ٤ | division | Division | قسمة |
| ٢٩ | waste | Verschnitt | قصاصة عديمة النفع |
| ١٣ | tin | Zinn | قصدير |
| ٥٤ | bus bar (collection) | Sammelschiene | قضيب (موصل) عمومي |
| ١٦ | diameter | Durchmesser | قُطر |
| ١٣٨ | pitch diameter | Teilkreisdurchmesser | قطر دائرة الخطوة |
| ٥ | piece | Stück | قطعة |
| ٩٩ | iron core | Eisenkern | قلب حديدي |
| ١٥٢ | measuring bridge | Meßbrücke | قنطرة (جسر) قياس |
| ١٨ | round bracket | runde Klammer | قوس دائري |
| ١٨ | square bracket | eckige Klammer | قوس مربع |
| ٣٨ | force | Kraft | قوّة |
| ٢٤ | exponent (power) | Potenz | قوّة (أُس) |
| ٤٠ | lever force | Hebelkraft | قوّة الرافعة |
| ١٠٨ | repulsion force | Abstoßungskraft | قوّة تنافُر |
| ٧٨ | electromotive force (emf) | EMK (elektromotorische Kraft) | قوّة دافعة (محركة) كهربائية |
| ٨٤ | inductive emf | Induktions-EMK | قوّة دافعة كهربائية حثيّة |
| ١٠٨ | counter electromotive force | Gegen-EMK | قوّة دافعة كهربائية مضادّة |
| ٨٠ | pull force | Zugkraft | قوّة شد |
| ١٣٥ | rope pull force | Seilzugkraft | قوّة شد الحبل |

| عربي | ألماني | انجليزي | رقم الصفحة |
|---|---|---|---|
| قوّة مغنطيسيّة | Magnetkraft | magnetic force | ٨٠ |
| قوى (أسس) العشرة | Zehnerpotenzen | decimal exponents | ٣٦ |
| قيمة أساسية (منسوب إليها) | Grundwert | basic value | ١٤ |
| قيمة الخانة | Stellenwert | place value | ٤ |
| قيمة الطَّور (الوجه) | Strangwert | phase value | ١٠٢ |
| قيمة الوصل | Schleusenwert | switch-on value | ١٥٦ |
| قيمة من الجدول | Tabellenwert | table value | ٦ |
| قيمة عظمى | Scheitelwert | maximum value | ٩٠ |
| قيمة فعّالة | Effektivwert | effective value | ٩٠ |
| قيمة عظمى | Maximalwert | maximum value | ٩٠ |
| قيمة لحظيّة | Augenblickwert (Zeitwert) | instantaneous value | ٩٠ |
| قيمة مقلوبة | Reziprokwert | reciprocal value | ١٥٩ |
| قيمة نسبيّة | relativer Wert | relative value | ١٨ |
| قيمة نسبية مئوية | Prozentwert | percentage value | ١٣ |
| قيم التيار ثلاثي الأطوار | Drehstromwerte | three-phase current values | ١٠٢ |
| قيم المحوّل الإسميّة | Trafo-Nennwerte | nominal values of transformer | ١٢٢ |
| «ك» | | | |
| كاوية لحام | Lötkolben | soldering copper or iron | ٦١ |
| كتلة | Masse | mass | ٣٢ |
| كثافة | Dichte | density | ٣٢ |
| كثافة التدفُّق المغنطيسي (الحث) | magnetische Flußdichte | magnetic flux density | ١٧٠ |
| كثافة التيار | Stromdichte | current density | ٥٢ |
| كثافة التيار الكهربائية | elektrische Stromdichte | electric current density | ١٧٠ |
| كسر | Bruch | fraction | ١٠ |
| كسر اعتيادي | gewöhnlicher Bruch | common fraction | ٦ |
| كسر حقيقي | echter Bruch | proper fraction | ٦ |
| كسر ظاهري | Scheinbruch | apparent fraction | ٦ |
| كسر عشري | Dezimalbruch | decimal (metric) fraction | ٨ |
| كسر غير حقيقي | unechter Bruch | improper fraction | ٦ |
| كسور متشابهة (متساوية المقام) | gleichnamige Brüche | fractions of the same denominator | ٦ |
| كسور مختلفة المقامات | ungleichnamige Brüche | fractions of different denominator | ٦ |
| كفاية | Wirkungsgrad | efficiency | ٣٨ |
| كفاية الإضاءة | Beleuchtungswirkungsgrad | efficiency of illumination | ١٤٨ |
| كفاية مصدر الإضاءة | Lichtausbeute | efficiency of a luminous source | ١٤٨ |
| كلفن | Kelvin | Kelvin | ٥٨ |
| كميات الشبكة | Netzgrößen | network quantities | ١٧٠ |
| كمية الحرارة | Wärmemenge | heat quantity | ٧٤ |
| كمية (مقدار) حراريّة | thermische Größe | thermal quantity | ١٦٩ |
| كمية زمنية | Zeitgröße | time quantity | ٣٦ |
| كمية كهربائية | elektrische Größe | electrical quantity | ١٧٠ |
| كمية مقاسة | Meßgröße | measured (metered) quantity | ٤٤ |
| كمية هندسية | geometrische Größe | geometrical quantity | ١٦٩ |
| كهرومغنطيسية | Elektromagnetismus | electromagnetism | ٨٠ |
| كيلوواط ساعة | Kilowattstunde | kilowatt hour | ٧٠ |
| كيمياء كهربائية | Elektrochemie | electrochemistry | ٧٨ |
| «ل» | | | |
| لفّة – لفيفة | Wicklung | winding | ٣٤ |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ١١٦ | primary winding | Primärwicklung | لفّة ابتدائية |
| | | | «م» |
| ١٣ | direct | direkt | مباشر |
| ٥ | amount (sum) | Betrag | مبلغ |
| ٣٩ | parallelogram of forces | Kräfteparallelogramm | متوازي أضلاع القوى |
| ٤ | example | Beispiel | مثال |
| ١٦ | triangle | Dreieck | مثلّث |
| ٩٠ | vector triangle | Zeigerdreieck | مثلّث المتجهات |
| ٤٤ | measuring range | Meßbereich | مجال (مدى) القياس |
| ٨٠ | magnetic field | Magnetfeld | مجال مغنطيسي |
| ١٦١ | collector | Kollektor | مجمّع |
| ٤ | sum | Summe | مجموع |
| ٥ | remaining amount (remainder) | Restsumme | مجموع باقٍ |
| ١٤٠ | loading group | Belastungsgruppe | مجموعة تحميل |
| ١٥٤ | L-C filter series | L-C-Siebkette | مجموعة مرشّح مكثف – ملف |
| ٨٤ | inductance | Induktivität | محاثّة |
| ١١٤ | single-phase motor | Einphasenmotor | محرّك أحادي الطور |
| ١١٤ | alternating current motor | Wechselstrommotor | محرّك تيار متردِّد |
| ١٠٦ | direct current motor | Gleichstrommotor | محرّك تيار مستمر |
| ١٢٦ | three-phase asynchronous motor | Drehstrom-Asynchronmotor | محرّك ثلاثي الأطوار لاتزامني |
| ١٢٦ | asynchronous motor | Asynchronmotor | محرّك لاتزامني |
| ١١٦ | transformer | Transformator (Umspanner) | محوّل |
| ٥٠ | transformer (transducer) | Wandler | محوّل |
| ١١٦ | single-phase transformer | Einphasenumspanner | محوّل أحادي الطور |
| ١٢٥ | ignition transformer | Zündtrafo | محوّل الإشعال |
| ١٥٠ | current transformer | Stromwandler | محوّل التيار |
| ١٥٠ | voltage transformer | Spannungswandler | محوّل الجهد |
| ١٢٢ | three-phase transformer | Drehstromumspanner | محوّل ثلاثي الأطوار |
| ١٢٥ | bell transformer | Klingeltrafo | محوّل جرس |
| ١٢٥ | isolating transformer | Schutztrafo | محوّل حماية |
| ٣٠ | circumference | Umfang | محيط |
| ٣٢ | cone | Kegel | مخروط |
| ٣٢ | truncated cone | Kegelstumpf | مخروط ناقص |
| ١٥٠ | working diagram | Arbeitsdiagramm | مخطّط عمل |
| ١٤ | reduced, decreased | vermindert | مخفّض (منقّص) |
| ١١٣ | oscillograph | Oszillograph | مرسمة تذبذبات (أوسيلوجراف) |
| ١٣٥ | magnetic crane | Magnetkran | مرفاع مغنطيسي (عيار) |
| ٤٠ | crank | Kurbel | مرفق |
| ٧٨ | accumulator | Sammler | مركم |
| ١٤ | increased (multiplied) | vermehrt | مزيد (مضاعف) |
| ١٤٠ | cross-section of the conductor | Leitungsquerschnitt | مساحة مقطع الموصل |
| ١٣ | distance | Abstand | مسافة (بعد) |
| ١٣ | consumer (load) | Verbraucher | مستهلك (حمل) |
| ٧٤ | heater | Heizgerät | مسخّن |
| ٧٦ | immersion heater | Tauchsieder | مسخّن غاطس |
| ٧٩ | continuous flow heater | Durchlauferhitzer | مسخّن تدفّق مستمر |

| عربي | ألماني | انجليزي | رقم الصفحة |
|---|---|---|---|
| مسطرة حاسبة | Rechenstab | slide rule | ٤٢ |
| مسمار ملولب (برغي) | Schraube | bolt, screw | ١٣ |
| مشبك (قفيز) مسافات (مشبك خلوصي) | Abstandschelle | spacing clamp | ٣٥ |
| مشروع ميزانية | Haushaltsplan | budget | ٥ |
| مصباح متوهج (إضاءة) | Glühlampe | incandescent or glow lamp | ٦٣ |
| مصباح فلوري | Leuchtstofflampe | fluorescent lamp | ١٤٩ |
| مصهر | Sicherung | fuse | ١٤٠ |
| مصهر انصهار | Schmelzsicherung | fuse (lead fuse) | ١٤ |
| مضاعف | Vielfaches | multiple | ٢٨ |
| مضخّة | Pumpe | pump | ١٣ |
| مضخّة ذات كباسات | Kolbenpumpe | piston pump | ١٣٥ |
| مضخِّم (مكبِّر) | Verstärker | amplifier | ١٦١ |
| مطروح | Subtrahend | subtrahend | ٤ |
| مطروح منه | Minuend | minuend | ٤ |
| مطلق | absolut | absolute | ١٨ |
| معادلة أُسِّية | Potenzgleichung | exponential equation | ٢٦ |
| معادلة الطَّور | Phasenkompensation | phase compensation | ١٣٠ |
| معادلة المحوِّل الرئيسية | Transformatorenhauptgleichung | transformer main equation | ١١٦ |
| معادلة تحتوي على جذور | Wurzelgleichung | roots equation | ٢٦ |
| معادلة كسريّة | Bruchgleichung | fraction equation | ٢٢ |
| معامل الإحتكاك | Reibungszahl | coefficient of friction | ١٧٠ |
| معامل التضخيم | Verstärkungsfaktor | amplification factor | ١٦١ |
| معامل الفصل | Abschaltfaktor | cut-off factor | ١٦٧ |
| معامل القدرة | Leistungsfaktor | power factor | ٩٨ |
| معامل المادَّة | Stoffzahl | material coefficient | ٥٢ |
| معامل تضخيم (تكبير) التيار المتردِّد | Wechselstromverstärkungsfaktor | amplification factor of alternating current | ١٦١ |
| معامل تضخيم (تكبير) التيار المستمر | Gleichstromverstärkungsfaktor | direct current amplification factor | ١٦١ |
| معامل حراري | Temperaturbeiwert | temperature coefficient | ٥٨ |
| مفاعلة | Blindwiderstand | reactance | ٩٢ |
| مقام | Nenner | denominator | ٦ |
| مقام مشترك = مضاعف مشترك أصغر للمقامات | Hauptnenner | common denominator | ٨ |
| مقاومة إطاريّة (إنزلاق) | Schleifenwiderstand | loop (slip) resistance | ١٦٥ |
| مقاومة الأرض لانتشار (تشتُّت) الجهد | Erdausbreitungswiderstand | earth resistance to voltage propagation | ١٦٦ |
| مقاومة الإنتشار | Ausbreitungswiderstand | propagation resistance | ١٦٧ |
| مقاومة الجسم | Körperwiderstand | body resistance | ١٦٥ |
| مقاومة الخلل | Fehlerwiderstand | fault resistance | ١٦٥ |
| مقاومة الفقد | Verlustwiderstand | loss (wasteful) resistance | ٦٢ |
| مقاومة الموصل | Leiterwiderstand | conductor resistance | ٥٢ |
| مقاومة الموقع | Standortwiderstand | position resistance | ١٦٥ |
| مقاومة توالٍ | Vorwiderstand | series resistance | ٦٠ |
| مقاومة تيار مستمر | Widerstand für Gleichstrom | direct current resistance | ٥٢ |
| مقاومة حثية | induktiver Widerstand | inductive resistance | ٩٢ |
| مقاومة داخلية | Innenwiderstand | internal resistance | ١٥٩ |
| مقاومة ساخنة | Warmwiderstand | hot resistance | ٥٨ |
| مقاومة سعويّة | kapazitiver Widerstand | capacitive resistance | ٩٢ |
| مقاومة ظاهريّة | Scheinwiderstand | impedance (apparent resistance) | ٩٢ |
| مقاومة فعّالة | Wirkwiderstand | active (effective) resistance | ٩٢ |
| مقاومة متغيِّرة | Stellwiderstand | variable resistance | ١٥٢ |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ٥٢ | specific resistance | spezifischer Widerstand | مقاومة نوعيّة |
| ١٦٣ | voltage divider | Spannungsteiler | مقسِّم جهد |
| ٤ | divisor | Divisor | مقسوم عليه |
| ١٣٦ | profile | Profil | مقطع (واجهة جانبيّة = بروفيل) |
| ١٢ | inversed | umgekehrt | مقلوب |
| ١٥٦ | rectifier | Gleichrichter | مقوِّم |
| ١٥٤ | full-wave rectifier | Zweiweggleichrichter | مقوِّم الموجة الكاملة |
| ١٦٣ | silicon rectifier | Siliciumgleichrichter | مقوِّم سليكون |
| ٥٣ | selenium rectifier | Selengleichrichter | مقوِّم سلينيوم |
| ٣٦ | arc measure, circular measure | Bogenmaß | مقياس دائري (كالدقيقة والدرجة) |
| ٨٦ | condenser | Kondensator | مكثّف |
| ١١٤ | motor operating condenser | Betriebskondensator | مكثّف تشغيل |
| ١١ | milling machine | Fräsmaschine | مكنة تفريز |
| ١٠٠ | choke coil | Drosselspule | ملف خانق |
| ٥٣ | relay coil | Relaisspule | ملف مرحِّل |
| ٧٨ | electrical potential source | Quellenspannung | منبع (مصدر) جهد |
| ٨٨ | sine curve | Sinuslinie | منحنى جيبي |
| ١٢٠ | loading characteristic curve | Belastungskennlinie | منحنى خصائص التحميل |
| ٨٠ | characteristic curve B-H | BH-Kennlinie | منحنى خصائص العلاقة بين B و H |
| ٤٢ | characteristic curve | Kennlinie | منحنى (خط) خصائصي |
| ٣٠ | circular saw | Kreissäge | منشار دائري |
| ١١١ | magnetic current regulator | Magnetstromsteller | منظِّم (ضابط) تيار مغنطيسي |
| ١٦٨ | band or rope ground wire | Band- oder Seilerder | مؤرِّض شريطي أو حبلي |
| ١١٩ | matching of resistance | Widerstandsanpassung | مواءمة المقاومة |
| ١٥٩ | stabilization | Stabilisierung | موازنة (اتزان) |
| ٤٦ | conductance | Leitwert | مواصلة |
| ٨٠ | magnetic conductance | Magnetleitwert | مواصلة مغنطيسية |
| ٥٤ | conductor | Ader | موصل |
| ٥٨ | cold conductor | Kaltleiter | موصل بارد |
| ١٤٦ | ring conductor | Ringleitung | موصل حلقي |
| ٥٨ | hot conductor | Heißleiter | موصل ساخن |
| ١٤٢ | rising mains | Steigleitung | موصل توزيع صاعد |
| ٦١ | return conductor, path | Rückleitung | موصل عودة (خط عودة) |
| ٥٢ | conductivity | Leitfähigkeit | موصليّة |
| ٦٣ | electric hearth | Elektroherd | موقد كهربائي |
| ١٠٦ | direct current generator | Gleichstromgenerator | مولّد تيار مستمر |

«ن»

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ٤ | minus | Minus | ناقص |
| ١٥٩ | semiconductor devices | Halbleiterbauelemente | نبائط أشباه موصلات |
| ١٣ | brass | Messing | نحاس أصفر |
| ١٢ | ratio | Verhältnis | نسبة |
| ١٤ | parts per thousand | Promillesatz | نسبة ألفية |
| ١٣٩ | transmission ratio | Übersetzungsverhältnis | نسبة نقل الحركة (السرعة) |
| ١٤ | percentage | Prozentsatz | نسبة مئويّة |
| ١٨ | relative | relativ | نسبي |
| ٣٦ | radius | Radius | نصف قطر |
| ٩ | part (share) | Anteil | نصيب |

| رقم الصفحة | انجليزي | ألماني | عربي |
|---|---|---|---|
| ٥ | decrease | Abnahme | نقصان |
| ١٤٦ | current inverse point | Stromumkehrpunkt | نقطة انعكاس التيار |
| ١٣٦ | belt drive transmission | Riementriebübersetzung | نقل (تحويل) الحركة بالسير |
| ٦ | type | Art | نوع |
| ٣٨ | Newton | Newton | نيوتن |
| | | | «ه» |
| ١٣٨ | drop (decrease) | Absinken | هبوط (نقصان) |
| ١٥٨ | voltage drop | Spannungsabfall | هبوط الجهد |
| ١٤٨ | light engineering | Lichttechnik | هندسة الإضاءة |
| ٨٠ | Henry | Henry | هنري |
| | | | «و» |
| ١٣٢ | wattmeter (power meter) | Leistungsmesser | واطمتر - مقياس القدرة |
| ٢٨ | unit of volume | Raumeinheit | وحدة الحجم |
| ٢٨ | length unit | Längeneinheit | وحدة الطول |
| ٢٨ | unit of area | Flächeneinheit | وحدة المساحة |
| ١١٣ | emergency power unit | Notstromaggregat | وحدة قدرة للطوارئ |
| ٤٤ | electric unit | elektrische Einheit | وحدة كهربائية |
| ٨٠ | magnetic unit | magnetische Einheit | وحدة مغنطيسيَّة |
| ٥ | workshop | Werkstatt | ورشة |
| ٣٢ | weight | Gewichtskraft | وزن |
| ٣٢ | weight of the wire | Drahtgewicht | وزن السلك |
| ٣٢ | sheet weight | Blechgewicht | وزن اللوح |
| ٣٢ | specific weight | Wichte | وزن نوعي |
| ٨٠ | flux-linkage | Durchflutung | وصلية التدفّق |
| ١٤٠ | conductor protection | Leitungsschutz | وقاية (حماية) الموصل |
| ١٣ | fuel | Kraftstoff | وقود |
| ٧١ | heating core | Heizpatrone | وليجة تسخين |
| | | | «ى» |
| ٤ | equal | gleich | يساوي |

## ١ – ١ جدول مصاهر الأمان — ١ – ٢ جدول التحميل

**١ – ١** بيان لمساحات المقاطع الإسمية للموصلات المعزولة المؤمنة ضد زيادة التيار . جدول VDE 0100/5.73, § 41, 6

**١ – ٢** التحميل الدائم المسموح به للموصلات المعزولة عند درجة حرارة محيطة حتى 25°C.
جدول VDE 0100/5.73, § 41, 2

| مساحة المقطع الإسمي ($mm^2$) | مجموعة 1 Cu (A) | مجموعة 2 Cu (A) | مجموعة 3 Cu (A) | مجموعة 1 Cu (A) | مجموعة 1 Al (A) | مجموعة 2 Cu (A) | مجموعة 2 Al (A) | مجموعة 3 Cu (A) | مجموعة 3 Al (A) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,75 | – | 10 | 16 | – | – | 13 | – | 16 | – |
| 1 | 10 | 16 | 20 | 12 | – | 16 | – | 20 | – |
| 1,5 | 16 | 20 | 25 | 16 | – | 20 | – | 25 | – |
| 2,5 | 20 | 25 | 35 | 21 | 16 | 27 | 21 | 34 | 27 |
| 4 | 25 | 35 | 50 | 27 | 21 | 36 | 29 | 45 | 35 |
| 6 | 35 | 50 | 63 | 35 | 27 | 47 | 37 | 57 | 45 |
| 10 | 50 | 63 | 80 | 48 | 38 | 65 | 51 | 78 | 61 |
| 16 | 63 | 80 | 100 | 65 | 51 | 87 | 68 | 104 | 82 |
| 25 | 80 | 100 | 125 | 88 | 69 | 115 | 90 | 137 | 107 |
| 35 | 100 | 125 | 160 | 110 | 86 | 143 | 112 | 168 | 132 |
| 50 | 125 | 160 | 200 | 140 | 110 | 178 | 140 | 210 | 165 |
| 70 | 160 | 224 | 250 | 175 | – | 220 | 173 | 260 | 205 |
| 95 | 200 | 250 | 300 | 210 | – | 265 | 210 | 310 | 245 |
| 120 | 250 | 300 | 355 | 250 | – | 310 | 245 | 365 | 285 |
| 150 | – | 355 | 425 | – | – | 355 | 280 | 415 | 330 |
| 185 | – | 355 | 425 | – | – | 405 | 320 | 475 | 375 |
| 240 | – | 425 | 500 | – | – | 480 | 380 | 560 | 440 |
| 300 | – | 500 | 600 | – | – | 555 | 435 | 645 | 510 |
| 400 | مصاهر موصلات الألومنيوم تكون بدرجة واحدة أقل | | | – | – | – | – | 770 | 605 |
| 500 | | | | – | – | – | – | 880 | 690 |

١ – لا بد أن تساوي مساحة المقطع الإسمية قيم الجدول 1 على الأقل .
٢ – بارتفاع درجة الحرارة المحيطة عن 25°C يجب أن تقل قيمة التيار الإسمية لعنصر الوقاية (انظر إلى اليمين) .
٣ – تصنيف مجموعات الموصّلات المعزولة :
مجموعة 1 : موصلات ممدودة داخل مواسير ، مثلا NYA .
مجموعة 2 : موصلات في أماكن رطبة وموصلات مزدوجة وموصلات متحركة .
مجموعة 3 : موصلات أحادية الفرع هوائية (تعادل المسافة البينية قطر الموصل على الأقل) الأسلاك أحادية الفرع في لوحات التوصيل والتوزيع .

(تطابق الاشارة الى تعليمات VDE النص لحظة الانتهاء منه . الا أنه يجب دائما استعمال أحدث تعليمات VDE .)

## ١ – ٣ درجة حرارة الغرفة والتحميل

**١ – ٣** التحميل المسموح به للموصلات المعزولة عند درجة حرارة محيطة حتى 25°C .
جدول VDE 0100/5.73, § 41, 4

**١ – ٤** التحميل المسموح به للموصلات المقاومة للحرارة عند درجة حرارة محيطة فوق 55°C .
جدول VDE 0100/5.73, § 41, 5

| درجة الحرارة المحيطة بالموصل | النسبة المئوية من قيم جدول ٢ في حالة : عازل مطاطي | عازل بلاستيك | النسبة المئوية من قيم جدول 2 | درجة الحرارة المحيطة بالموصل: درجة الحرارة الحدية 100°C | درجة الحرارة الحدية 180°C |
|---|---|---|---|---|---|
| حتى 25°C | 100 | 100 | 100 | حتى 65°C | حتى 145°C |
| حتى 30°C | 92 | 94 | 92 | حتى 70°C | حتى 150°C |
| حتى 35°C | 85 | 88 | 85 | حتى 75°C | حتى 155°C |
| حتى 40°C | 75 | 82 | 75 | حتى 80°C | حتى 160°C |
| حتى 45°C | 65 | 75 | 65 | حتى 85°C | حتى 165°C |
| حتى 50°C | 53 | 67 | 53 | حتى 90°C | حتى 170°C |
| حتى 55°C | 38 | 58 | 38 | حتى 95°C | حتى 175°C |

## ١ – ٥ الحد الأدنى لمساحة مقطع الموصلات

مستخرجة من : أقل مساحات مقاطع للموصلات. جدول VDE 0100/5.73, § 41, 1

| نوع التمديد | Cu ($mm^2$) | Al ($mm^2$) |
|---|---|---|
| تمديد ثابت وذو وقاية | 1,5 | 2,5 |
| تمديد مكشوف مستند على عوازل : | | |
| بمسافات بينية حتى 20 m | 4 | 16 |
| بمسافات بينية حتى 45 m | 6 | 16 (متعددة الأسلاك) |
| في لوحات التوصيل والتوزيع حتى 2 A | 0,5 | – |
| حتى 16 A | 0,75 | |
| فوق 16 A | 1,0 | |
| الموصلات القابلة للحركة للتوصيلات التالية : (يلزم تحديدها ضمن بيانات نوعية الجهاز) | | |
| الأجهزة اليدوية الخفيفة حتى 1 A، موصّلات حتى 2 m | 0,1 | – |
| أجهزة حتى 2,5 A ، وموصلات حتى 2 m | 0,5 | |
| أجهزة وعلب إقران حتى 10 A | 0,75 | |
| أجهزة أكبر من 10 A وعلب إقران من 10 A إلى 16 A | 1,0 | |
| سلك التثبيت | 0,75 | |
| الموصلات الهوائية | أنظر VDE 0211, § 5 | |

## ٢-١ الرموز الرياضية

مستخرج من DIN 1302 فبراير ٦٨

| الرمز | المعنى | الرمز | المعنى | الرمز | المعنى |
|---|---|---|---|---|---|
| $=$ | يساوي | $<$ | أصغر من | $\infty$ | ما لا نهاية |
| $\neq$ | لا يساوي | $>$ | أكبر من | $\sqrt{\ }$ | الجذر التربيعي |
| $\approx$ | يساوي تقريبا | $\leq$ | أصغر من أو يساوي | ... | وهكذا . . . إلى |
| $\triangleq$ | يناظر أو يعادل | $\geq$ | أكبر من أو يساوي | $\parallel$ | يوازي |

## ٢-٢ ثوابت مختلفة

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\pi$ | 3,14159 | لوحة رقم 14 | $g$ | $9,80665\ m/s^2 =$ | تسارع الجاذبية الأرضية | لوحة رقم 18 |
| $\sqrt{2}$ | 1,4142 | لوحة رقم 37 | $\mu_o$ | $1,2566 \cdot 10^{-6} H/m =$ | ثابت المجال المغنطيسي | لوحة رقم 32 |
| $\sqrt{3}$ | 1,7321 | لوحة رقم 42 | $\varepsilon_o$ | $8,8542 \cdot 10^{-12} F/m =$ | ثابت المجال الكهربائي | لوحة رقم 35 |

## ٢-٣ رموز الصيغ لقيم المواد

| الرمز | النطق | التسمية | الوحدات المستخدمة: الرمز المختصر | الوحدات المستخدمة: تنطق | رقم اللوحة |
|---|---|---|---|---|---|
| $\varrho$ | رو rho | الكثافة (= الكتلة ÷ الحجم) | $\frac{g}{cm^3}$ | جرام لكل سنتيمتر مكعب | 15 |
| $\sigma$ | سيجما sigma | إجهاد الشد مقاومة إجهاد الشد | $\frac{N}{mm^2}$ | نيوتن لكل مليمتر مربع | – |
| $\varrho_{20}$ | rho رو عند درجة حرارة +20°C | المقاومة الكهربائية النوعية | $\frac{\Omega mm^2}{m}$ | أوم · مليمتر مربع لكل متر | 23 |
| $\varkappa_{20}$ | kappa كابا عند درجة حرارة +20°C | الموصلية الكهربائية (قابلية التوصيل الكهربائي) | $\frac{Sm}{mm^2}$ | سيمنز متر لكل مليمتر مربع | 23 |
| $\alpha_{20}$ | alpha ألفا عند درجة حرارة +20°C | المعامل الحراري | $\frac{\Omega}{\Omega K}$ | أوم لكل أوم وكلفن | 25 |
| $c$ | – | السعة الحرارية النوعية | $\frac{Ws}{gK}$ | واط ثانية لكل جرام وكلفن | 30 |
| $a$ | – | المكافئ الكهربائي الكيميائي | $\frac{mg}{As}$ | ملّي جرام لكل أمبير ثانية | 31 |
| $\mu_r$ | my ميو (نسبي) | معامل الإنفاذية المغنطيسية للمادة | – | $(\mu=\mu_r \cdot \mu_o)$ | 32 |
| $\varepsilon_r$ | إبسيلون epsilon (نسبي) | ثابت العازل الكهربائي للمادة | – | $(\varepsilon=\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0)$ | 35 |

## ٢-٤ الكميات الكهربائية والمغنطيسية

يقارن في هذه الحالة مع DIN 1301 (1971)
DIN 40121, (1971) DIN 1304 (1965)
قوانين وحدات نظام SI – (AV 26.6.70)

| الرمز | التسمية | الوحدات المستخدمة: الرمز المختصر | الوحدات المستخدمة: النطق | رقم اللوحة |
|---|---|---|---|---|
| A | المساحة (مساحة المقطع) | $mm^2$ | مليمتر مربع | 14 |
| B | كثافة التدفق المغنطيسي | T | تسلا | 32 |
| C | السعة | µF | ميكروفاراد | 35 |
| E | القوة الدافعة الكهربائية | V | ڤولط | 31 |
| E | شدة المجال الكهربائي | V/mm | ڤولط لكل مليمتر | 35 |
| E | شدة الإضاءة | lx | لكس | 61 |
| G | المواصلة الكهربائية | S | سيمنز | 21 |
| H | شدة المجال المغنطيسي | A/mm | أمبير لكل مليمتر | 32 |
| I | شدة التيار الكهربائي | A | أمبير | 20 |
| L | المحاثة | H | هنري | 34 |
| P | القدرة الفعّالة | W | واط | 22 |
| Q | القدرة المفاعلة | var | ڤولط أمبير مفاعل | 41 |
| Q | كمية الكهرباء | As=C | أمبير ثانية = كولوم | 35 |
| Q | كمية الحرارة | Ws=J | واط ثانية = جول | 30 |
| R | المقاومة الفعّالة | Ω | أوم | 21 |
| S | كثافة التيار الكهربائي | $A/mm^2$ | أمبير لكل مليمتر مربع | 23 |
| S | القدرة الظاهرية | VA | ڤولط أمبير | 41 |
| U | الجهد الكهربائي | V | ڤولط | 20 |
| W | الشغل الكهربائي | kWh | كيلوواط ساعة | 29 |
| X | المقاومة المفاعلة | Ω | أوم | 38 |
| Z | المقاومة الظاهرية | Ω | أوم | 38 |
| f | التردد | Hz | هرتس | 37 |
| n | سرعة الدوران | r.p.m. | لفّة لكل دقيقة | 17 |
| Δ | مقدار التغير | – | (توضع قبل الكمية المقاسة) | 25 |
| Θ | وصلية التدفق | A | أمبير | 32 |
| Λ | المواصلة المغنطيسية | µH | ميكرو هنري | 32 |
| Φ | التدفق المغنطيسي | µVs | ميكرو ڤولط ثانية | 32 |
| Φ | التدفق الضوئي | lm | لومن | 61 |
| ϑ | درجة الحرارة | K,°C | درجة مئوية ، كلفن | 25 |
| φ | إزاحة الطور | o | درجة (زاوية) | 37 |
| ω | سرعة التغير (الزاويّة) | $^1/_s$ | (توضع قبل قيمة الجيب) | 36 |

ملاحظة: رمز أصغر من (>) ورمز أكبر من (<) موضوعين في هذه الجداول طبقا للنظام الأوروبي نظرا لأن المعادلات تحل في هذا الكتاب بالرموز الأوروبية.

## ٣ – ١ موصّلات التيار

| | | |
|---|---|---|
| مساحة المقطع ($mm^2$) | $A=0{,}785 \cdot d^2$ | d (mm)<br>A ($mm^2$) |
| الوزن (g) | $m=A \cdot l \cdot \varrho$ | A ($mm^2$)<br>l (m) |
| طول سلك الملف | $l=d_m \cdot \pi \cdot N$ | $d_m$ (m)<br>l (m) |
| المقاومة بالأوم | $R=\frac{\varrho \cdot l}{A}=\frac{l}{\varkappa \cdot A}$ | l (m)<br>A ($mm^2$) |
| المقاومة الساخنة :<br>الزيادة في المقاومة : | $R_h=R_{20}+\Delta R$<br>$\Delta R=R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$ | تقرأ :<br>$\Delta$ = delta دلتا<br>$\vartheta$ = theta ثيتا<br>$\Delta\vartheta=\vartheta_h-\vartheta_{20}$<br>$\Delta R=R_h-R_{20}$ |

## ٣ – ٢ التيار المستمر

| | | |
|---|---|---|
| كثافة التيار ($A/mm^2$) | $S=\frac{I}{A}$ | I (A)<br>A ($mm^2$) |
| قانون أوم الموسّع | $I=\frac{U_o}{R_{ex}+R_i}=\frac{U_{term}}{R_{ex}}=\frac{\Delta U}{R_i}$ | |
| القدرة المعطاة (W) | $P=U \cdot I=I^2 \cdot R=\frac{U^2}{R}$ | |
| الشغل المعطى (Ws). | $W=P \cdot t=\frac{W_o}{\eta}$ | $W_o$<br>(Ws=Nm=J) |
| الحرارة المكتسبة من الجهاز أو المستفادة | $Q_o=m \cdot \Delta\vartheta \cdot c$ | m (g)<br>Q (Ws=J) |
| أجهزة التسخين الكهربائية | $m \cdot \Delta\vartheta \cdot c=P \cdot t \cdot \eta$ | P (W)<br>t (s) |
| الكمية المترسبة (mg) | $m=I \cdot t \cdot a$ | I (A)<br>t (s) |
| الوصلية للمغنطيسات | $\Theta=I \cdot N$<br>$=(H \cdot l)$ للهواء + $(H \cdot l)$ للحديد | |
| شدّة المجال المغنطيسي | $H_a=\frac{B}{\mu_o}=B \cdot 800$ | B (T)<br>H (A/mm) |
| قوة المغنطيس (N) | $F=B^2 \cdot A_{eff} \cdot 0{,}4$ | $A_{eff}$ ($mm^2$)= مجموع مساحات الأقطاب |

## ٣ – ٣ التيار المتردّد

| | | |
|---|---|---|
| المواصلة المغنطيسية (μH) | $\Lambda=\frac{\mu \cdot A}{l}=\frac{B \cdot A}{H \cdot l}$ | $\frac{T \cdot mm^2}{A/mm \cdot mm}$ |
| المحاثة (هنري) | $L=\frac{\Lambda \cdot N^2}{10^6}$ | Λ (μH)<br>L (H) |
| المقاومة المفاعلة (Ω) | $X_L=2\pi \cdot f \cdot L$ | L (H)<br>f (Hz) |
| المقاومة المفاعلة (Ω) | $X_C=\frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$ | C (μF)<br>f (Hz) |
| المعاوقة (Ω) | $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$ | للتوصيل على التوالي |
| القيمة اللحظية $U_t$ (Vs/s=V) | $U_t=\frac{\Delta\Phi}{t} \cdot N=U_{max} \cdot \sin\alpha$ | |
| قيم U و I الفعّالة | $U=\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$ | $I=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$ |
| حساب التيار المتردد | $I=\frac{U}{Z}=\sqrt{I^2{}_a+I^2{}_r}$ | تيارات جزئية على التوازي |
| القدرة الظاهرية (VA) | $S=U \cdot I=I^2 \cdot Z=\frac{U^2}{Z}$ | |
| القدرة الفعّالة (W) | $P=U \cdot I \cdot \cos\varphi=I^2 \cdot R=\frac{U^2}{R}$ | |
| القدرة المفاعلة (var) | $Q=U \cdot I \cdot \sin\varphi=I^2 \cdot X=\frac{U^2}{X}$ | |

## ٣ – ٤ التيار ثلاثي الأطوار (الدوّار)

| | | |
|---|---|---|
| جهود الأطوار | $UphY=U$ | $Uph_Y=\frac{U}{\sqrt{3}}$ |
| تيارات الأطوار | $Iph\Delta=\frac{I}{\sqrt{3}}$ | $Iph_Y=I$ |
| القدرة الظاهرية للطور | $Sph=Uph \cdot IphY=\frac{U \cdot I}{\sqrt{3}}$ | |
| ≈ القدرة الفعّالة | $P=3 \cdot P_{ph}=\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$ | |
| ≈ القدرة المفاعلة | $Q=3 \cdot Q_{ph}=\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$ | |

## ٣ – ٥ المكنات الكهربائية

| | | |
|---|---|---|
| مولّد تيار مستمر : القدرة المستفادة منه (W) | $P_2=U \cdot I;\ P_2=P_1 \cdot \eta$ | $P_2=P_o$ (W)<br>I (A); U (V) |
| مولّد تيار مستمر : القدرة المعطاة له (kW, HP) | $P_1=\frac{M \cdot n}{7030}$ HP<br>$P_1=\frac{M \cdot n}{9550}$ kW | M (Nm)<br>n (r.p.m) |
| جهد الأطراف (V) | $U=E-(I_A \cdot R_i)$ | $I_A$ (A)<br>$R_i$ (Ω) |
| محرك تيار مستمر : قوة التنافر (N) | $F=B \cdot l \cdot I$ | B (T); l (m)<br>I (A) |
| محرك تيار مستمر : القدرة المستفادة منه | $P_2=P_1 \cdot \eta$<br>$P_2=U \cdot I \cdot \eta$ | $P_1$ (W); U (V)<br>I (A) |
| ق . د . ك المضادة (V) | $c.e.m.f.=U-(I_A \cdot R_a)$ | U (V); $I_A$ (A)<br>$R_a$ (Ω) |
| محرك ~1 : القدرة المستفادة منه (W) | $P_2=P_1 \cdot \eta$<br>$P_2=U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta$ | $P_1$ (W); U (V)<br>I (A) |
| محرك ~3 : القدرة المستفادة منه (W) | $P_2=P_1 \cdot \eta$<br>$P_2=U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot \eta$ | $P_1$ (W); U (V)<br>I (A) |
| محرك ~3 : سرعة دوران المجال وعضو الإنتاج (r.p.m.) | $n_F=\frac{f \cdot 60}{p};\ n=n_F-s$ | f (Hz)<br>s (r.p.m.) |
| معامل القدرة الفعّالة والمفاعلة | $\cos\varphi=\frac{P}{S};\ \sin\varphi=\frac{Q}{S}$ | P (W); S (VA)<br>Q (var) |
| الإدارة بالسيور والمسننات | $d_1 \cdot n_1=d_2 \cdot n_2$<br>$d_1 \cdot z_1=d_2 \cdot z_2$ | d (mm)<br>n (r.p.m.) |
| معادلة المحوّل الرئيسية | $E_2=4{,}44 \cdot B_{max} \cdot A \cdot f \cdot N$ | B (T); A ($m^2$)<br>f (Hz) |
| القدرة الإسمية لمحولات ~1 و~3 (VA) | $S_2=U_2 \cdot I_2$<br>$S_2=U_2 \cdot I_2 \cdot \sqrt{3}$ | U (V)<br>I (A) |

## ٣ – ٦ فرق الجهد – موصّل ذو حمل عند نهايته

| | | |
|---|---|---|
| تيار مستمر | $\Delta U=\frac{2 \cdot l \cdot I}{\varkappa \cdot A}$ | l= طول مفرود للموصل (m) |
| تيار متردد | $\Delta U=\frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$ | I (A)<br>A ($mm^2$) |
| تيار ثلاثي الأطوار | $\Delta U=\frac{l \cdot I \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi}{\varkappa \cdot A}$ | $\cos\varphi \leqq 1$ |

## ٤ـ١ خواص المعادن النقية كيميائيا (أفضل قيم)

| إسم المعدن | الرمز | الكثافة ϱ $\frac{g}{cm^3}$ | السعة الحرارية النوعية c $\frac{Ws}{gK}$ | حرارة الانصهار Q $\frac{Ws}{g}$ | درجة حرارة الانصهار °C | المقاومة النوعية $\varrho_{20}$ $\frac{\Omega mm^2}{m}$ | المعامل الحراري $\alpha_{20}$ $\frac{\Omega}{\Omega K}$ | المكافئ الكهربائي الكيميائي a $\frac{mg}{As}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ألومنيوم | Al | 2,72 | 0,90 | 398 | 660 | 0,0241 | 0,004 | 0,0932 |
| رصاص | Pb | 11,34 | 0,13 | 25 | 327 | 0,188 | 0,004 | 1,0737 |
| كروم | Cr | 7,1 | 0,44 | 316 | 1800 | 0,0189 | – | 0,1797 |
| حديد | Fe | 7,86 | 0,46 | 268 | .1539 | 0,1 | 0,0056 | 0,289 |
| نحاس | Cu | 8,93 | 0,39 | 205 | 1083 | 0,0155 | 0,0039 | 0,3294 |
| نيكل | Ni | 8,8 | 0,46 | 300 | 1455 | 0,0605 | 0,006 | 0,3041 |
| بلاتين | Pt | 21,4 | 0,13 | 101 | 1773 | 0,098 | 0,0039 | 1,008 |
| زئبق | Hg | 13,55 | 0,14 | 11 | −39 | 0,958 | 0,0009 | 2,079 |
| فضّة | Ag | 10,5 | 0,23 | 105 | 960 | 0,0149 | 0,0041 | 1,118 |
| ولفرام | W | 19,3 | 0,13 | 192 | 3350 | 0,0491 | 0,0048 | 0,95 |
| زنك | Zn | 7,12 | 0,39 | 102 | 420 | 0,048 | 0,0041 | 0,3388 |
| قصدير | Sn | 7,28 | 0,22 | 60 | 232 | 0,1 | 0,0046 | 0,61 |

## ٤ـ٢ خواص بعض المواد العازلة (قيم تقريبية)

| المادّة العازلة | الكثافة ϱ $\frac{g}{cm^3}$ | مقاومة إجهاد الشد $\frac{N}{mm^2}$ | مقاومة تغيُّر الشكل (المتانة) حتى °C | المتانة الكهربائية للعزل $\frac{kV}{mm}$ | المقاومة النوعية $\varrho_{20}$ Ωcm | ثابت العازل $\varepsilon_r =$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ميكا | 2,8 | – | 600 | 60 | $10^{16}$ | 7 |
| مطّاط | 1,1 | 25 | 50 | 25 | $10^{16}$ | 3 |
| ورق صلد | 1,4 | 70 ... 110 | 125 | 10 ... 20 | $10^{10}$ | 5 |
| بلاستك PVC | 1,4 | 50 | 70 | 40 | $10^{15}$ | 3,5 |
| هواء | $1,3 \cdot 10^{-3}$ | – | – | 1 ... 2 | – | 1 |
| زيت عزل | 0,88 | – | – | 10 | $10^{13}$ | 2,2 |

## ٤ـ٣ نحاس الموصّلات وألومنيوم الموصّلات (طبقا لتعليمات VDE)

| مادّة الموصل | الخواص الهامة (مستخلصة) | | $\varrho_{20}$ $(\frac{\Omega mm^2}{m})$ |
|---|---|---|---|
| نحاس طبقا للمواصفات VDE 0201/34 | ملدّن طري | | 0,01754 = 1/57 |
| | سلك مسحوب على البارد | d ≧ 1 mm | 0,01786 = 1/56 |
| | مقاومة إجهاد الشد $300\ N/mm^2$ | d < 1 mm | 0,01818 = 1/55 |
| ألومنيوم طبقا للمواصفات VDE 0202/43 | ملدّن طري ، المقاومة النوعية طبقا لبند 2 | | 0,02778 = 1/36 |
| | ملدّن طري ، للموصلات والكبلات المعزولة طبقا لبند 3 | | 0,02941 = 1/34 |

## ٤ـ٤ معادن المقاومات RW (مختارات)

| الرمز طبقا لمواصفات DIN 46461 | أمثلة: الإسم التجاري | النسب المئوية للمكوّنات (%) | | | ϱ $\frac{kg}{dm^3}$ | $\varrho_{20}$ $\frac{\Omega mm^2}{m}$ | $\alpha_{20}$ $\frac{\Omega}{\Omega K}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RW 13 | فولاذ | 0,1 C | 0,5 Mn | الباقي Fe | 7,85 | 0,13 | +0,005 |
| RW 30 | فضّة ألمانية | 60 Cu | 17 Ni | 23 Zn | 8,7 | 0,3 | +0,00035 |
| RW 43 | منجانين | 86 Cu | 2 Ni | 12 Mn | 8 | 0,43 | +0,0002 |
| RW 50 | كونستنتان | 54 Cu | 45 Ni | 1 Mn | 8,9 | 0,5 | +0,00003 |

## ٤ـ٥ سبائك موصّلات التسخين (مستخرج من مواصفات DIN 17470/63)

| الرمز (الإسم المختصر) | النسب المئوية لمكونات السبيكة (%) Al | Cr | Fe | Ni | الكثافة g/cm³ | أقصى درجة حرارة مسموح بها في الهواء °C | ϱ $(\frac{\Omega mm^2}{m})$ عند +20°C | عند +1000°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NiCr 80 20 | – | 20 | – | الباقي | 8,3 | 1200 | 1,12 | 1,15 |
| NiCr 60 15 | – | 15 | 20 | الباقي | 8,2 | 1150 | 1,13 | 1,24 |
| NiCr 30 20 | – | 20 | الباقي | 30 | 7,9 | 1100 | 1,04 | 1,30 |
| CrNi 25 20 | – | 25 | الباقي | 20 | 7,8 | 1050 | 0,95 | 1,26 |
| CrAl 25 5 | 5 | 25 | الباقي | – | 7,1 | 1300 | 1,44 | 1,49 |
| CrAl 20 5 | 5 | 20 | الباقي | – | 7,2 | 1200 | 1,37 | 1,45 |

## 1...50

| d أو n | d · π | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3,142 | 0,7854 | 1 | 1,0000 |
| 2 | 6,283 | 3,1416 | 4 | 1,4142 |
| 3 | 9,425 | 7,0686 | 9 | 1,7321 |
| 4 | 12,566 | 12,5664 | 16 | 2,0000 |
| 5 | 15,708 | 19,6350 | 25 | 2,2361 |
| 6 | 18,850 | 28,2743 | 36 | 2,4495 |
| 7 | 21,991 | 38,4845 | 49 | 2,6458 |
| 8 | 25,133 | 50,2655 | 64 | 2,8284 |
| 9 | 28,274 | 63,6173 | 81 | 3,0000 |
| 10 | 31,416 | 78,5398 | 100 | 3,1623 |
| 11 | 34,558 | 95,0332 | 121 | 3,3166 |
| 12 | 37,699 | 113,097 | 144 | 3,4641 |
| 13 | 40,841 | 132,732 | 169 | 3,6056 |
| 14 | 43,982 | 153,938 | 196 | 3,7417 |
| 15 | 47,124 | 176,715 | 225 | 3,8730 |
| 16 | 50,265 | 201,062 | 256 | 4,0000 |
| 17 | 53,407 | 226,980 | 289 | 4,1231 |
| 18 | 56,549 | 254,469 | 324 | 4,2426 |
| 19 | 59,690 | 283,529 | 361 | 4,3589 |
| 20 | 62,832 | 314,159 | 400 | 4,4721 |
| 21 | 65,973 | 346,361 | 441 | 4,5826 |
| 22 | 69,115 | 380,133 | 484 | 4,6904 |
| 23 | 72,257 | 415,476 | 529 | 4,7958 |
| 24 | 75,398 | 452,389 | 576 | 4,8990 |
| 25 | 78,540 | 490,874 | 625 | 5,0000 |
| 26 | 81,681 | 530,929 | 676 | 5,0990 |
| 27 | 84,823 | 572,555 | 729 | 5,1962 |
| 28 | 87,965 | 615,752 | 784 | 5,2915 |
| 29 | 91,106 | 660,520 | 841 | 5,3852 |
| 30 | 94,248 | 706,858 | 900 | 5,4772 |
| 31 | 97,389 | 754,768 | 961 | 5,5678 |
| 32 | 100,531 | 804,248 | 1024 | 5,6569 |
| 33 | 103,673 | 855,299 | 1089 | 5,7446 |
| 34 | 106,814 | 907,920 | 1156 | 5,8310 |
| 35 | 109,956 | 962,113 | 1225 | 5,9161 |
| 36 | 113,097 | 1017,88 | 1296 | 6,0000 |
| 37 | 116,239 | 1075,21 | 1369 | 6,0828 |
| 38 | 119,381 | 1134,11 | 1444 | 6,1644 |
| 39 | 122,522 | 1194,59 | 1521 | 6,2450 |
| 40 | 125,66 | 1256,64 | 1600 | 6,3246 |
| 41 | 128,81 | 1320,25 | 1681 | 6,4031 |
| 42 | 131,95 | 1385,44 | 1764 | 6,4807 |
| 43 | 135,09 | 1452,20 | 1849 | 6,5574 |
| 44 | 138,23 | 1520,53 | 1936 | 6,6332 |
| 45 | 141,37 | 1590,43 | 2025 | 6,7082 |
| 46 | 144,51 | 1661,90 | 2116 | 6,7823 |
| 47 | 147,65 | 1734,94 | 2209 | 6,8557 |
| 48 | 150,80 | 1809,56 | 2304 | 6,9282 |
| 49 | 153,94 | 1885,74 | 2401 | 7,0000 |
| 50 | 157,08 | 1963,50 | 2500 | 7,0711 |

## 51...100

| d أو n | d · π | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 51 | 160,22 | 2042,82 | 2601 | 7,1414 |
| 52 | 163,36 | 2123,72 | 2704 | 7,2111 |
| 53 | 166,50 | 2206,18 | 2809 | 7,2801 |
| 54 | 169,65 | 2290,22 | 2916 | 7,3485 |
| 55 | 172,79 | 2375,83 | 3025 | 7,4162 |
| 56 | 175,93 | 2463,01 | 3136 | 7,4833 |
| 57 | 179,07 | 2551,76 | 3249 | 7,5498 |
| 58 | 182,21 | 2642,08 | 3364 | 7,6158 |
| 59 | 185,35 | 2733,97 | 3481 | 7,6811 |
| 60 | 188,50 | 2827,43 | 3600 | 7,7460 |
| 61 | 191,64 | 2922,47 | 3721 | 7,8102 |
| 62 | 194,78 | 3019,07 | 3844 | 7,8740 |
| 63 | 197,92 | 3117,25 | 3969 | 7,9373 |
| 64 | 201,06 | 3216,99 | 4069 | 8,0000 |
| 65 | 204,20 | 3318,31 | 4225 | 8,0623 |
| 66 | 207,35 | 3421,19 | 4356 | 8,1240 |
| 67 | 210,49 | 3525,65 | 4489 | 8,1854 |
| 68 | 213,63 | 3631,68 | 4624 | 8,2462 |
| 69 | 216,77 | 3739,28 | 4761 | 8,3066 |
| 70 | 219,91 | 3848,45 | 4900 | 8,3666 |
| 71 | 223,05 | 3959,19 | 5041 | 8,4261 |
| 72 | 226,19 | 4071,50 | 5184 | 8,4853 |
| 73 | 229,34 | 4185,39 | 5329 | 8,5440 |
| 74 | 232,48 | 4300,84 | 5476 | 8,6023 |
| 75 | 235,62 | 4417,86 | 5625 | 8,6603 |
| 76 | 238,76 | 4536,46 | 5776 | 8,7178 |
| 77 | 241,90 | 4656,63 | 5929 | 8,7750 |
| 78 | 245,04 | 4778,36 | 6084 | 8,8318 |
| 79 | 248,19 | 4901,67 | 6241 | 8,8882 |
| 80 | 251,33 | 5026,55 | 6400 | 8,9443 |
| 81 | 254,47 | 5153,00 | 6561 | 9,0000 |
| 82 | 257,61 | 5281,02 | 6724 | 9,0554 |
| 83 | 260,75 | 5410,61 | 6889 | 9,1104 |
| 84 | 263,89 | 5541,77 | 7056 | 9,1652 |
| 85 | 267,04 | 5674,50 | 7225 | 9,2195 |
| 86 | 270,18 | 5808,80 | 7396 | 9,2736 |
| 87 | 273,32 | 5944,68 | 7569 | 9,3274 |
| 88 | 276,46 | 6082,12 | 7744 | 9,3808 |
| 89 | 279,60 | 6221,14 | 7921 | 9,4340 |
| 90 | 282,74 | 6361,73 | 8100 | 9,4868 |
| 91 | 285,88 | 6503,88 | 8281 | 9,5394 |
| 92 | 289,03 | 6647,61 | 8464 | 9,5917 |
| 93 | 292,17 | 6792,91 | 8649 | 9,6437 |
| 94 | 295,31 | 6939,78 | 8836 | 9,6954 |
| 95 | 298,45 | 7088,22 | 9025 | 9,7468 |
| 96 | 301,59 | 7238,23 | 9216 | 9,7980 |
| 97 | 304,73 | 7389,81 | 9409 | 9,8489 |
| 98 | 307,88 | 7542,96 | 9604 | 9,8995 |
| 99 | 311,02 | 7697,69 | 9801 | 9,9499 |
| 100 | 314,16 | 7853,98 | 10000 | 10,0000 |

## 101...150

| d أو n | d · π | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 101 | 317,30 | 8011,85 | 10201 | 10,0499 |
| 102 | 320,44 | 8171,28 | 10404 | 10,0995 |
| 103 | 323,58 | 8332,29 | 10609 | 10,1489 |
| 104 | 326,73 | 8494,87 | 10816 | 10,1980 |
| 105 | 329,87 | 8659,01 | 11025 | 10,2470 |
| 106 | 333,01 | 8824,73 | 11236 | 10,2956 |
| 107 | 336,15 | 8992,02 | 11449 | 10,3441 |
| 108 | 339,29 | 9160,88 | 11664 | 10,3923 |
| 109 | 342,43 | 9331,32 | 11881 | 10,4403 |
| 110 | 345,58 | 9503,32 | 12100 | 10,4881 |
| 111 | 348,72 | 9676,89 | 12321 | 10,5357 |
| 112 | 351,86 | 9852,03 | 12544 | 10,5830 |
| 113 | 355,00 | 10028,7 | 12769 | 10,6301 |
| 114 | 358,14 | 10207,0 | 12996 | 10,6771 |
| 115 | 361,28 | 10386,9 | 13225 | 10,7238 |
| 116 | 364,42 | 10568,3 | 13456 | 10,7703 |
| 117 | 367,57 | 10751,3 | 13689 | 10,8167 |
| 118 | 370,71 | 10935,9 | 13924 | 10,8628 |
| 119 | 373,85 | 11122,0 | 14161 | 10,9087 |
| 120 | 376,99 | 11309,7 | 14400 | 10,9545 |
| 121 | 380,13 | 11499,0 | 14641 | 11,0000 |
| 122 | 383,27 | 11689,9 | 14884 | 11,0454 |
| 123 | 386,42 | 11882,3 | 15129 | 11,0905 |
| 124 | 389,56 | 12076,3 | 15376 | 11,1355 |
| 125 | 392,70 | 12271,8 | 15625 | 11,1803 |
| 126 | 395,84 | 12469,0 | 15876 | 11,2250 |
| 127 | 398,98 | 12667,7 | 16129 | 11,2694 |
| 128 | 402,12 | 12868,0 | 16384 | 11,3137 |
| 129 | 405,27 | 13069,8 | 16641 | 11,3578 |
| 130 | 408,41 | 13273,2 | 16900 | 11,4018 |
| 131 | 411,55 | 13478,2 | 17161 | 11,4455 |
| 132 | 414,69 | 13684,8 | 17424 | 11,4891 |
| 133 | 417,83 | 13892,9 | 17689 | 11,5326 |
| 134 | 420,97 | 14102,6 | 17956 | 11,5758 |
| 135 | 424,12 | 14313,9 | 18225 | 11,6190 |
| 136 | 427,26 | 14526,7 | 18496 | 11,6619 |
| 137 | 430,40 | 14741,1 | 18769 | 11,7047 |
| 138 | 433,54 | 14957,1 | 19044 | 11,7473 |
| 139 | 436,68 | 15174,7 | 19321 | 11,7898 |
| 140 | 439,82 | 15393,8 | 19600 | 11,8322 |
| 141 | 442,96 | 15614,5 | 19881 | 11,8743 |
| 142 | 446,11 | 15836,8 | 20164 | 11,9164 |
| 143 | 449,25 | 16060,6 | 20449 | 11,9583 |
| 144 | 452,39 | 16286,0 | 20736 | 12,0000 |
| 145 | 455,53 | 16513,0 | 21025 | 12,0416 |
| 146 | 458,67 | 16741,5 | 21316 | 12,0830 |
| 147 | 461,81 | 16971,7 | 21609 | 12,1244 |
| 148 | 464,96 | 17203,4 | 21904 | 12,1655 |
| 149 | 468,10 | 17436,6 | 22201 | 12,2066 |
| 150 | 471,24 | 17671,5 | 22500 | 12,2474 |

## 151...200

| d أو n | d · π | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 151 | 474,38 | 17907,9 | 22801 | 12,2882 |
| 152 | 477,52 | 18145,8 | 23104 | 12,3288 |
| 153 | 480,66 | 18385,4 | 23409 | 12,3693 |
| 154 | 483,81 | 18626,5 | 23716 | 12,4097 |
| 155 | 486,95 | 18869,2 | 24025 | 12,4499 |
| 156 | 490,09 | 19113,4 | 24336 | 12,4900 |
| 157 | 493,23 | 19359,3 | 24649 | 12,5300 |
| 158 | 496,37 | 19606,7 | 24964 | 12,5698 |
| 159 | 499,51 | 19855,7 | 25281 | 12,6095 |
| 160 | 502,65 | 20106,2 | 25600 | 12,6491 |
| 161 | 505,80 | 20358,3 | 25921 | 12,6886 |
| 162 | 508,94 | 20612,0 | 26244 | 12,7279 |
| 163 | 512,08 | 20867,2 | 26569 | 12,7671 |
| 164 | 515,22 | 21124,1 | 26896 | 12,8062 |
| 165 | 518,36 | 21382,5 | 27225 | 12,8452 |
| 166 | 521,50 | 21642,4 | 27556 | 12,8841 |
| 167 | 524,65 | 21904,0 | 27889 | 12,9228 |
| 168 | 527,79 | 22167,1 | 28224 | 12,9615 |
| 169 | 530,93 | 22431,8 | 28561 | 13,0000 |
| 170 | 534,07 | 22698,0 | 28900 | 13,0384 |
| 171 | 537,21 | 22965,8 | 29241 | 13,0767 |
| 172 | 540,35 | 23235,2 | 29584 | 13,1149 |
| 173 | 543,50 | 23506,2 | 29929 | 13,1529 |
| 174 | 546,64 | 23778,7 | 30276 | 13,1909 |
| 175 | 549,78 | 24052,8 | 30625 | 13,2288 |
| 176 | 552,92 | 24328,5 | 30976 | 13,2665 |
| 177 | 556,06 | 24605,7 | 31329 | 13,3041 |
| 178 | 559,20 | 24884,6 | 31684 | 13,3417 |
| 179 | 562,35 | 25164,9 | 32041 | 13,3791 |
| 180 | 565,49 | 25446,9 | 32400 | 13,4164 |
| 181 | 568,63 | 25730,4 | 32761 | 13,4536 |
| 182 | 571,77 | 26015,5 | 33124 | 13,4907 |
| 183 | 574,91 | 26302,2 | 33489 | 13,5277 |
| 184 | 578,05 | 26590,4 | 33856 | 13,5647 |
| 185 | 581,19 | 26880,3 | 34225 | 13,6015 |
| 186 | 584,34 | 27171,6 | 34596 | 13,6382 |
| 187 | 587,48 | 27464,6 | 34969 | 13,6748 |
| 188 | 590,62 | 27759,1 | 35344 | 13,7113 |
| 189 | 593,76 | 28055,2 | 35721 | 13,7477 |
| 190 | 596,90 | 28352,9 | 36100 | 13,7840 |
| 191 | 600,04 | 28652,1 | 36481 | 13,8203 |
| 192 | 603,19 | 28952,9 | 36864 | 13,8564 |
| 193 | 606,33 | 29255,3 | 37249 | 13,8924 |
| 194 | 609,47 | 29559,2 | 37636 | 13,9284 |
| 195 | 612,61 | 29864,8 | 38025 | 13,9642 |
| 196 | 615,75 | 30171,9 | 38416 | 14,0000 |
| 197 | 618,89 | 30480,5 | 38809 | 14,0357 |
| 198 | 622,04 | 30790,7 | 39204 | 14,0712 |
| 199 | 625,18 | 31102,6 | 39601 | 14,1067 |
| 200 | 628,32 | 31415,9 | 40000 | 14,1421 |

## 201...250

| d أو n | d · π | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 201 | 631,46 | 31730,9 | 40401 | 14,1774 |
| 202 | 634,60 | 32047,4 | 40804 | 14,2127 |
| 203 | 637,74 | 32365,5 | 41209 | 14,2478 |
| 204 | 640,88 | 32685,1 | 41616 | 14,2829 |
| 205 | 644,03 | 33006,4 | 42025 | 14,3178 |
| 206 | 647,17 | 33329,2 | 42436 | 14,3527 |
| 207 | 650,31 | 33653,5 | 42849 | 14,3875 |
| 208 | 653,45 | 33979,5 | 43264 | 14,4222 |
| 209 | 656,59 | 34307,0 | 43681 | 14,4568 |
| 210 | 659,73 | 34636,1 | 44100 | 14,4914 |
| 211 | 662,88 | 34966,7 | 44521 | 14,5258 |
| 212 | 666,02 | 35298,9 | 44944 | 14,5602 |
| 213 | 669,16 | 35632,7 | 45369 | 14,5945 |
| 214 | 672,30 | 35968,1 | 45796 | 14,6287 |
| 215 | 675,44 | 36305,0 | 46225 | 14,6629 |
| 216 | 678,58 | 36643,5 | 46656 | 14,6969 |
| 217 | 681,73 | 36983,6 | 47089 | 14,7309 |
| 218 | 684,87 | 37325,3 | 47524 | 14,7648 |
| 219 | 688,01 | 37668,5 | 47961 | 14,7986 |
| 220 | 691,15 | 38013,3 | 48400 | 14,8324 |
| 221 | 694,29 | 38359,6 | 48841 | 14,8661 |
| 222 | 697,43 | 38707,6 | 49284 | 14,8997 |
| 223 | 700,58 | 39057,1 | 49729 | 14,9332 |
| 224 | 703,72 | 39408,1 | 50176 | 14,9666 |
| 225 | 706,86 | 39760,8 | 50625 | 15,0000 |
| 226 | 710,00 | 40115,0 | 51076 | 15,0333 |
| 227 | 713,14 | 40470,8 | 51529 | 15,0665 |
| 228 | 716,28 | 40828,1 | 51984 | 15,0997 |
| 229 | 719,42 | 41187,1 | 52441 | 15,1327 |
| 230 | 722,57 | 41547,6 | 52900 | 15,1658 |
| 231 | 725,71 | 41909,6 | 53361 | 15,1987 |
| 232 | 728,85 | 42273,3 | 53824 | 15,2315 |
| 233 | 731,99 | 42638,5 | 54289 | 15,2643 |
| 234 | 735,13 | 43005,3 | 54756 | 15,2971 |
| 235 | 738,27 | 43373,6 | 55225 | 15,3297 |
| 236 | 741,42 | 43743,5 | 55696 | 15,3623 |
| 237 | 744,56 | 44115,0 | 56169 | 15,3948 |
| 238 | 747,70 | 44488,1 | 56644 | 15,4272 |
| 239 | 750,84 | 44862,7 | 57121 | 15,4596 |
| 240 | 753,98 | 45238,9 | 57600 | 15,4919 |
| 241 | 757,12 | 45616,7 | 58081 | 15,5242 |
| 242 | 760,27 | 45996,1 | 58564 | 15,5563 |
| 243 | 763,41 | 46377,0 | 59049 | 15,5885 |
| 244 | 766,55 | 46759,5 | 59536 | 15,6205 |
| 245 | 769,69 | 47143,5 | 60025 | 15,6525 |
| 246 | 772,83 | 47529,2 | 60516 | 15,6844 |
| 247 | 775,97 | 47916,4 | 61009 | 15,7162 |
| 248 | 779,11 | 48305,1 | 61504 | 15,7480 |
| 249 | 782,26 | 48695,5 | 62001 | 15,7797 |
| 250 | 785,40 | 49087,4 | 62500 | 15,8114 |

INTERPART EDUCATIONAL CONCEPTS, Stuttgart/Federal Republic of Germany

| 251 … 300 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d o. n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 251 | 788,54 | 49480,9 | 63001 | 15,8430 |
| 252 | 791,68 | 49875,9 | 63504 | 15,8745 |
| 253 | 794,82 | 50272,6 | 64009 | 15,9060 |
| 254 | 797,96 | 50670,7 | 64516 | 15,9374 |
| 255 | 801,11 | 51070,5 | 65025 | 15,9687 |
| 256 | 804,25 | 51471,9 | 65536 | 16,0000 |
| 257 | 807,39 | 51874,8 | 66049 | 16,0312 |
| 258 | 810,53 | 52279,2 | 66564 | 16,0624 |
| 259 | 813,67 | 52685,3 | 67081 | 16,0935 |
| 260 | 816,81 | 53092,9 | 67600 | 16,1245 |
| 261 | 819,96 | 53502,1 | 68121 | 16,1555 |
| 262 | 823,10 | 53912,9 | 68644 | 16,1864 |
| 263 | 826,24 | 54325,2 | 69169 | 16,2173 |
| 264 | 829,38 | 54739,1 | 69696 | 16,2481 |
| 265 | 832,52 | 55154,6 | 70225 | 16,2788 |
| 266 | 835,66 | 55571,6 | 70756 | 16,3095 |
| 267 | 838,81 | 55990,2 | 71289 | 16,3401 |
| 268 | 841,95 | 56410,4 | 71824 | 16,3707 |
| 269 | 845,09 | 56832,2 | 72361 | 16,4012 |
| 270 | 848,23 | 57255,5 | 72900 | 16,4317 |
| 271 | 851,37 | 57680,4 | 73441 | 16,4621 |
| 272 | 854,51 | 58106,9 | 73984 | 16,4924 |
| 273 | 857,65 | 58534,9 | 74529 | 16,5227 |
| 274 | 860,80 | 58964,6 | 75076 | 16,5529 |
| 275 | 863,94 | 59395,7 | 75625 | 16,5831 |
| 276 | 867,08 | 59828,5 | 76176 | 16,6132 |
| 277 | 870,22 | 60262,8 | 76729 | 16,6433 |
| 278 | 873,36 | 60698,7 | 77284 | 16,6733 |
| 279 | 876,50 | 61136,2 | 77841 | 16,7033 |
| 280 | 879,65 | 61575,2 | 78400 | 16,7332 |
| 281 | 882,79 | 62015,8 | 78961 | 16,7631 |
| 282 | 885,93 | 62458,0 | 79524 | 16,7929 |
| 283 | 889,07 | 62901,8 | 80089 | 16,8226 |
| 284 | 892,21 | 63347,1 | 80656 | 16,8523 |
| 285 | 895,35 | 63794,0 | 81225 | 16,8819 |
| 286 | 898,50 | 64242,4 | 81796 | 16,9115 |
| 287 | 901,64 | 64692,5 | 82369 | 16,9411 |
| 288 | 904,78 | 65144,1 | 82944 | 16,9706 |
| 289 | 907,92 | 65597,2 | 83521 | 17,0000 |
| 290 | 911,06 | 66052,0 | 84100 | 17,0294 |
| 291 | 914,20 | 66508,3 | 84681 | 17,0587 |
| 292 | 917,35 | 66966,2 | 85264 | 17,0880 |
| 293 | 920,49 | 67425,6 | 85849 | 17,1172 |
| 294 | 923,63 | 67886,7 | 86436 | 17,1464 |
| 295 | 926,77 | 68349,3 | 87025 | 17,1756 |
| 296 | 929,91 | 68813,4 | 87616 | 17,2047 |
| 297 | 933,05 | 69279,2 | 88209 | 17,2337 |
| 298 | 936,19 | 69746,5 | 88804 | 17,2627 |
| 299 | 939,34 | 70215,4 | 89401 | 17,2916 |
| 300 | 942,48 | 70685,8 | 90000 | 17,3205 |

| 301 … 350 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d o. n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 301 | 945,62 | 71157,9 | 90601 | 17,3494 |
| 302 | 948,76 | 71631,5 | 91204 | 17,3781 |
| 303 | 951,90 | 72106,6 | 91809 | 17,4069 |
| 304 | 955,04 | 72583,4 | 92416 | 17,4356 |
| 305 | 958,19 | 73061,7 | 93025 | 17,4642 |
| 306 | 961,33 | 73541,5 | 93636 | 17,4929 |
| 307 | 964,47 | 74023,0 | 94249 | 17,5214 |
| 308 | 967,61 | 74506,0 | 94864 | 17,5499 |
| 309 | 970,75 | 74990,6 | 95481 | 17,5784 |
| 310 | 973,89 | 75476,8 | 96100 | 17,6068 |
| 311 | 977,04 | 75964,5 | 96721 | 17,6352 |
| 312 | 980,18 | 76453,8 | 97344 | 17,6635 |
| 313 | 983,32 | 76944,7 | 97969 | 17,6918 |
| 314 | 986,46 | 77437,1 | 95896 | 17,7200 |
| 315 | 989,60 | 77931,1 | 99225 | 17,7482 |
| 316 | 992,74 | 78426,7 | 99856 | 17,7764 |
| 317 | 995,88 | 78923,9 | 100489 | 17,8045 |
| 318 | 999,03 | 79422,6 | 101124 | 17,8326 |
| 319 | 1002,2 | 79922,9 | 101761 | 17,8606 |
| 320 | 1005,3 | 80424,8 | 102400 | 17,8885 |
| 321 | 1008,5 | 80928,2 | 103041 | 17,9165 |
| 322 | 1011,6 | 81433,2 | 103684 | 17,9444 |
| 323 | 1014,7 | 81939,8 | 104329 | 17,9722 |
| 324 | 1017,9 | 82448,0 | 104976 | 18,0000 |
| 325 | 1021,0 | 82957,7 | 105625 | 18,0278 |
| 326 | 1024,2 | 83469,0 | 106276 | 18,0555 |
| 327 | 1027,3 | 83981,8 | 106929 | 18,0831 |
| 328 | 1030,4 | 84496,3 | 107584 | 18,1108 |
| 329 | 1033,6 | 85012,3 | 108241 | 18,1384 |
| 330 | 1036,7 | 85529,9 | 108900 | 18,1659 |
| 331 | 1039,9 | 86049,0 | 109561 | 18,1934 |
| 332 | 1043,0 | 86569,7 | 110224 | 18,2209 |
| 333 | 1046,2 | 87092,0 | 110889 | 18,2483 |
| 334 | 1049,3 | 87615,9 | 111556 | 18,2757 |
| 335 | 1052,4 | 88141,3 | 112225 | 18,3030 |
| 336 | 1055,6 | 88668,3 | 112896 | 18,3303 |
| 337 | 1058,7 | 89196,9 | 113569 | 18,3576 |
| 338 | 1061,9 | 89727,0 | 114244 | 18,3848 |
| 339 | 1065,0 | 90258,7 | 114921 | 18,4120 |
| 340 | 1068,1 | 90792,0 | 115600 | 18,4391 |
| 341 | 1071,3 | 91326,9 | 116281 | 18,4662 |
| 342 | 1074,4 | 91863,3 | 116964 | 18,4932 |
| 343 | 1077,6 | 92401,3 | 117649 | 18,5203 |
| 344 | 1080,7 | 92940,9 | 118336 | 18,5472 |
| 345 | 1083,8 | 93482,0 | 119025 | 18,5742 |
| 346 | 1087,0 | 94024,7 | 119716 | 18,6011 |
| 347 | 1090,1 | 94569,0 | 120409 | 18,6279 |
| 348 | 1093,3 | 95114,9 | 121104 | 18,6548 |
| 349 | 1096,4 | 95662,3 | 121801 | 18,6815 |
| 350 | 1099,6 | 96211,3 | 122500 | 18,7083 |

| 351 … 400 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d o. n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 351 | 1102,7 | 96761,8 | 123201 | 18,7350 |
| 352 | 1105,8 | 97314,0 | 123904 | 18,7617 |
| 353 | 1109,0 | 97867,7 | 124609 | 18,7883 |
| 354 | 1112,1 | 98423,0 | 125316 | 18,8149 |
| 355 | 1115,3 | 98979,8 | 126025 | 18,8414 |
| 356 | 1118,4 | 99538,2 | 126736 | 18,8680 |
| 357 | 1121,5 | 100098 | 127449 | 18,8944 |
| 358 | 1124,7 | 100660 | 128164 | 18,9209 |
| 359 | 1127,8 | 101223 | 128881 | 18,9473 |
| 360 | 1131,0 | 101788 | 129600 | 18,9737 |
| 361 | 1134,1 | 102354 | 130321 | 19,0000 |
| 362 | 1137,3 | 102922 | 131044 | 19,0263 |
| 363 | 1140,4 | 103491 | 131769 | 19,0526 |
| 364 | 1143,5 | 104062 | 132496 | 19,0788 |
| 365 | 1146,7 | 104635 | 133225 | 19,1050 |
| 366 | 1149,8 | 105209 | 133956 | 19,1311 |
| 367 | 1153,0 | 105785 | 134689 | 19,1572 |
| 368 | 1156,1 | 106362 | 135424 | 19,1833 |
| 369 | 1159,2 | 106941 | 136161 | 19,2094 |
| 370 | 1162,4 | 107521 | 136900 | 19,2354 |
| 371 | 1165,5 | 108103 | 137641 | 19,2614 |
| 372 | 1168,7 | 108687 | 138384 | 19,2873 |
| 373 | 1171,8 | 109272 | 139129 | 19,3132 |
| 374 | 1175,0 | 109858 | 139876 | 19,3391 |
| 375 | 1178,1 | 110447 | 140625 | 19,3649 |
| 376 | 1181,2 | 111036 | 141376 | 19,3907 |
| 377 | 1184,4 | 111628 | 142129 | 19,4165 |
| 378 | 1187,5 | 112221 | 142884 | 19,4422 |
| 379 | 1190,7 | 112815 | 143641 | 19,4679 |
| 380 | 1193,8 | 113411 | 144400 | 19,4936 |
| 381 | 1196,9 | 114009 | 145161 | 19,5192 |
| 382 | 1200,1 | 114608 | 145924 | 19,5448 |
| 383 | 1203,2 | 115209 | 146689 | 19,5704 |
| 384 | 1206,4 | 115812 | 147456 | 19,5959 |
| 385 | 1209,5 | 116416 | 148225 | 19,6214 |
| 386 | 1212,7 | 117021 | 148996 | 19,6469 |
| 387 | 1215,8 | 117628 | 149769 | 19,6723 |
| 388 | 1218,9 | 118237 | 150544 | 19,6977 |
| 389 | 1222,1 | 118847 | 151321 | 19,7231 |
| 390 | 1225,2 | 119459 | 152100 | 19,7484 |
| 391 | 1228,4 | 120072 | 152881 | 19,7737 |
| 392 | 1231,5 | 120687 | 153664 | 19,7990 |
| 393 | 1234,6 | 121304 | 154449 | 19,8242 |
| 394 | 1237,8 | 121922 | 155236 | 19,8494 |
| 395 | 1240,9 | 122542 | 156025 | 19,8746 |
| 396 | 1244,1 | 123163 | 156816 | 19,8997 |
| 397 | 1247,2 | 123786 | 157609 | 19,9249 |
| 398 | 1250,4 | 124410 | 158404 | 19,9499 |
| 399 | 1253,5 | 125036 | 159201 | 19,9750 |
| 400 | 1256,6 | 125664 | 160000 | 20,0000 |

| 401 … 450 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d o. n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 401 | 1259,8 | 126293 | 160801 | 20,0250 |
| 402 | 1262,9 | 126923 | 161604 | 20,0499 |
| 403 | 1266,1 | 127556 | 162409 | 20,0749 |
| 404 | 1269,2 | 128190 | 163216 | 20,0998 |
| 405 | 1272,3 | 128825 | 164025 | 20,1246 |
| 406 | 1275,5 | 129462 | 164836 | 20,1494 |
| 407 | 1278,6 | 130100 | 165649 | 20,1742 |
| 408 | 1281,8 | 130741 | 166464 | 20,1990 |
| 409 | 1284,9 | 131382 | 167281 | 20,2237 |
| 410 | 1288,1 | 132025 | 168100 | 20,2485 |
| 411 | 1291,2 | 132670 | 168921 | 20,2731 |
| 412 | 1294,3 | 133317 | 169744 | 20,2978 |
| 413 | 1297,5 | 133965 | 170569 | 20,3224 |
| 414 | 1300,6 | 134614 | 171396 | 20,3470 |
| 415 | 1303,8 | 135265 | 172225 | 20,3715 |
| 416 | 1306,9 | 135918 | 173056 | 20,3961 |
| 417 | 1310,0 | 136572 | 173889 | 20,4206 |
| 418 | 1313,2 | 137228 | 174724 | 20,4450 |
| 419 | 1316,3 | 137885 | 175561 | 20,4695 |
| 420 | 1319,5 | 138544 | 176400 | 20,4939 |
| 421 | 1322,6 | 139205 | 177241 | 20,5183 |
| 422 | 1325,8 | 139867 | 178084 | 20,5426 |
| 423 | 1328,9 | 140531 | 178929 | 20,5670 |
| 424 | 1332,0 | 141196 | 179776 | 20,5913 |
| 425 | 1335,2 | 141863 | 180625 | 20,6155 |
| 426 | 1338,3 | 142531 | 181476 | 20,6398 |
| 427 | 1341,5 | 143201 | 182329 | 20,6640 |
| 428 | 1344,6 | 143872 | 183184 | 20,6882 |
| 429 | 1347,7 | 144545 | 184041 | 20,7123 |
| 430 | 1350,9 | 145220 | 184900 | 20,7364 |
| 431 | 1354,0 | 145896 | 185761 | 20,7605 |
| 432 | 1357,2 | 146574 | 186624 | 20,7846 |
| 433 | 1360,3 | 147254 | 187489 | 20,8087 |
| 434 | 1363,5 | 147934 | 188356 | 20,8327 |
| 435 | 1366,6 | 148617 | 189225 | 20,8567 |
| 436 | 1369,7 | 149301 | 190096 | 20,8806 |
| 437 | 1372,9 | 149987 | 190969 | 20,9045 |
| 438 | 1376,0 | 150674 | 191844 | 20,9284 |
| 439 | 1379,2 | 151363 | 192721 | 20,9523 |
| 440 | 1382,3 | 152053 | 193600 | 20,9762 |
| 441 | 1385,4 | 152745 | 194481 | 21,0000 |
| 442 | 1388,6 | 153439 | 195364 | 21,0238 |
| 443 | 1391,7 | 154134 | 196249 | 21,0476 |
| 444 | 1394,9 | 154830 | 197136 | 21,0713 |
| 445 | 1398,0 | 155528 | 198025 | 21,0950 |
| 446 | 1401,2 | 156228 | 198916 | 21,1187 |
| 447 | 1404,3 | 156930 | 199809 | 21,1424 |
| 448 | 1407,4 | 157633 | 200704 | 21,1660 |
| 449 | 1410,6 | 158337 | 201601 | 21,1896 |
| 450 | 1413,7 | 159043 | 202500 | 21,2132 |

| 451 … 500 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d o. n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 451 | 1416,9 | 159751 | 203401 | 21,2368 |
| 452 | 1420,0 | 160460 | 204304 | 21,2603 |
| 453 | 1423,1 | 161171 | 205209 | 21,2838 |
| 454 | 1426,3 | 161883 | 206116 | 21,3073 |
| 455 | 1429,4 | 162597 | 207025 | 21,3307 |
| 456 | 1432,6 | 163313 | 207936 | 21,3542 |
| 457 | 1435,7 | 164030 | 208849 | 21,3776 |
| 458 | 1438,8 | 164748 | 209764 | 21,4009 |
| 459 | 1442,0 | 165468 | 210681 | 21,4243 |
| 460 | 1445,1 | 166190 | 211600 | 21,4476 |
| 461 | 1448,3 | 166914 | 212521 | 21,4709 |
| 462 | 1451,4 | 167639 | 213444 | 21,4942 |
| 463 | 1454,6 | 168365 | 214369 | 21,5174 |
| 464 | 1457,7 | 169093 | 215296 | 21,5407 |
| 465 | 1460,8 | 169823 | 216225 | 21,5639 |
| 466 | 1464,0 | 170554 | 217156 | 21,5870 |
| 467 | 1467,1 | 171287 | 218089 | 21,6102 |
| 468 | 1470,3 | 172021 | 219024 | 21,6333 |
| 469 | 1473,4 | 172757 | 219961 | 21,6564 |
| 470 | 1476,5 | 173494 | 220900 | 21,6795 |
| 471 | 1479,7 | 174234 | 221841 | 21,7025 |
| 472 | 1482,8 | 174974 | 222784 | 21,7256 |
| 473 | 1486,0 | 175716 | 223729 | 21,7486 |
| 474 | 1489,1 | 176460 | 224676 | 21,7715 |
| 475 | 1492,3 | 177205 | 225625 | 21,7945 |
| 476 | 1495,4 | 177952 | 226576 | 21,8174 |
| 477 | 1498,5 | 178701 | 227529 | 21,8403 |
| 478 | 1501,7 | 179451 | 228484 | 21,8632 |
| 479 | 1504,8 | 180203 | 229441 | 21,8861 |
| 480 | 1508,0 | 180956 | 230400 | 21,9089 |
| 481 | 1511,1 | 181711 | 231361 | 21,9317 |
| 482 | 1514,2 | 182467 | 232324 | 21,9545 |
| 483 | 1517,4 | 183225 | 233289 | 21,9773 |
| 484 | 1520,5 | 183984 | 234256 | 22,0000 |
| 485 | 1523,7 | 184745 | 235225 | 22,0227 |
| 486 | 1526,8 | 185508 | 236196 | 22,0454 |
| 487 | 1530,0 | 186272 | 237169 | 22,0681 |
| 488 | 1533,1 | 187038 | 238144 | 22,0907 |
| 489 | 1536,2 | 187805 | 239121 | 22,1133 |
| 490 | 1539,4 | 188574 | 240100 | 22,1359 |
| 491 | 1542,5 | 189345 | 241081 | 22,1585 |
| 492 | 1545,7 | 190117 | 242064 | 22,1811 |
| 493 | 1548,8 | 190890 | 243049 | 22,2036 |
| 494 | 1551,9 | 191665 | 244036 | 22,2261 |
| 495 | 1555,1 | 192442 | 245025 | 22,2486 |
| 496 | 1558,2 | 193221 | 246016 | 22,2711 |
| 497 | 1561,4 | 194000 | 247009 | 22,2935 |
| 498 | 1564,5 | 194782 | 248004 | 22,3159 |
| 499 | 1567,7 | 195565 | 249001 | 22,3383 |
| 500 | 1570,8 | 196350 | 250000 | 22,3607 |

| 501 … 550 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d أو n | $d \cdot \pi$ | $\frac{2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 501 | 1573,9 | 197136 | 251001 | 22,3830 |
| 502 | 1577,1 | 197923 | 252004 | 22,4054 |
| 503 | 1580,2 | 198713 | 253009 | 22,4277 |
| 504 | 1583,4 | 199504 | 254016 | 22,4499 |
| 505 | 1586,5 | 200296 | 255025 | 22,4722 |
| 506 | 1589,6 | 201090 | 256036 | 22,4944 |
| 507 | 1592,8 | 201886 | 257049 | 22,5167 |
| 508 | 1595,9 | 202683 | 258064 | 22,5389 |
| 509 | 1599,1 | 203482 | 259081 | 22,5610 |
| 510 | 1602,2 | 204282 | 260100 | 22,5832 |
| 511 | 1605,4 | 205084 | 261121 | 22,6053 |
| 512 | 1608,5 | 205887 | 262144 | 22,6274 |
| 513 | 1611,6 | 206692 | 263169 | 22,6495 |
| 514 | 1614,8 | 207499 | 264196 | 22,6716 |
| 515 | 1617,9 | 208307 | 265225 | 22,6936 |
| 516 | 1621,1 | 209117 | 266256 | 22,7156 |
| 517 | 1624,2 | 209928 | 267289 | 22,7376 |
| 518 | 1627,3 | 210741 | 268324 | 22,7596 |
| 519 | 1630,5 | 211556 | 269361 | 22,7816 |
| 520 | 1633,6 | 212372 | 270400 | 22,8035 |
| 521 | 1636,8 | 213189 | 271441 | 22,8254 |
| 522 | 1639,9 | 214008 | 272484 | 22,8473 |
| 523 | 1643,1 | 214829 | 273529 | 22,8692 |
| 524 | 1646,2 | 215651 | 274576 | 22,8910 |
| 525 | 1649,3 | 216475 | 275625 | 22,9129 |
| 526 | 1652,5 | 217301 | 276676 | 22,9347 |
| 527 | 1655,6 | 218128 | 277729 | 22,9565 |
| 528 | 1658,8 | 218956 | 278784 | 22,9783 |
| 529 | 1661,9 | 219787 | 279841 | 23,0000 |
| 530 | 1665,0 | 220618 | 280900 | 23,0217 |
| 531 | 1668,2 | 221452 | 281961 | 23,0434 |
| 532 | 1671,3 | 222287 | 283024 | 23,0651 |
| 533 | 1674,5 | 223123 | 284089 | 23,0868 |
| 534 | 1677,6 | 223961 | 285156 | 23,1084 |
| 535 | 1680,8 | 224801 | 286225 | 23,1301 |
| 536 | 1683,9 | 225642 | 287296 | 23,1517 |
| 537 | 1687,0 | 226484 | 288369 | 23,1733 |
| 538 | 1690,2 | 227329 | 289444 | 23,1948 |
| 539 | 1693,3 | 228175 | 290521 | 23,2164 |
| 540 | 1696,5 | 229022 | 291600 | 23,2379 |
| 541 | 1699,6 | 229871 | 292681 | 23,2594 |
| 542 | 1702,7 | 230722 | 293764 | 23,2809 |
| 543 | 1705,9 | 231574 | 294849 | 23,3024 |
| 544 | 1709,0 | 232428 | 295936 | 23,3238 |
| 545 | 1712,2 | 233283 | 297025 | 23,3452 |
| 546 | 1715,3 | 234140 | 298116 | 23,3666 |
| 547 | 1718,5 | 234998 | 299209 | 23,3880 |
| 548 | 1721,6 | 235858 | 300304 | 23,4094 |
| 549 | 1724,7 | 236720 | 301401 | 23,4307 |
| 550 | 1727,9 | 237583 | 302500 | 23,4521 |

| 551 … 600 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d أو n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 551 | 1731,0 | 238448 | 303601 | 23,4734 |
| 552 | 1734,2 | 239314 | 304704 | 23,4947 |
| 553 | 1737,3 | 240182 | 305809 | 23,5160 |
| 554 | 1740,4 | 241051 | 306916 | 23,5372 |
| 555 | 1743,6 | 241922 | 308025 | 23,5584 |
| 556 | 1746,7 | 242795 | 309136 | 23,5797 |
| 557 | 1749,9 | 243669 | 310249 | 23,6008 |
| 558 | 1753,0 | 244545 | 311364 | 23,6220 |
| 559 | 1756,2 | 245422 | 312481 | 23,6432 |
| 560 | 1759,3 | 246301 | 313600 | 23,6643 |
| 561 | 1762,4 | 247181 | 314721 | 23,6854 |
| 562 | 1765,6 | 248063 | 315844 | 23,7065 |
| 563 | 1768,7 | 248947 | 316969 | 23,7276 |
| 564 | 1771,9 | 249832 | 318096 | 23,7487 |
| 565 | 1775,0 | 250719 | 319225 | 23,7697 |
| 566 | 1778,1 | 251607 | 320356 | 23,7908 |
| 567 | 1781,3 | 252497 | 321489 | 23,8118 |
| 568 | 1784,4 | 253388 | 322624 | 23,8328 |
| 569 | 1787,6 | 254281 | 323761 | 23,8537 |
| 570 | 1790,7 | 255176 | 324900 | 23,8747 |
| 571 | 1793,8 | 256072 | 326041 | 23,8956 |
| 572 | 1797,0 | 256970 | 327184 | 23,9165 |
| 573 | 1800,1 | 257869 | 328329 | 23,9374 |
| 574 | 1803,3 | 258770 | 329476 | 23,9583 |
| 575 | 1806,4 | 259672 | 330625 | 23,9792 |
| 576 | 1809,6 | 260576 | 331776 | 24,0000 |
| 577 | 1812,7 | 261482 | 332929 | 24,0208 |
| 578 | 1815,8 | 262389 | 334084 | 24,0416 |
| 579 | 1819,0 | 263298 | 335241 | 24,0624 |
| 580 | 1822,1 | 264208 | 336400 | 24,0832 |
| 581 | 1825,3 | 265120 | 337561 | 24,1039 |
| 582 | 1828,4 | 266033 | 338724 | 24,1247 |
| 583 | 1831,6 | 266948 | 339889 | 24,1454 |
| 584 | 1834,7 | 267865 | 341056 | 24,1661 |
| 585 | 1837,8 | 268783 | 342225 | 24,1868 |
| 586 | 1841,0 | 269703 | 343396 | 24,2074 |
| 587 | 1844,1 | 270624 | 344569 | 24,2281 |
| 588 | 1847,3 | 271547 | 345744 | 24,2487 |
| 589 | 1850,4 | 272471 | 346921 | 24,2693 |
| 590 | 1853,5 | 273397 | 348100 | 24,2899 |
| 591 | 1856,7 | 274325 | 349281 | 24,3105 |
| 592 | 1859,8 | 275254 | 350464 | 24,3311 |
| 593 | 1863,0 | 276184 | 351649 | 24,3516 |
| 594 | 1866,1 | 277117 | 352836 | 24,3721 |
| 595 | 1869,2 | 278051 | 354025 | 24,3926 |
| 596 | 1872,2 | 278986 | 355216 | 24,4131 |
| 597 | 1875,5 | 279923 | 356409 | 24,4336 |
| 598 | 1878,7 | 280862 | 357604 | 24,4540 |
| 599 | 1881,8 | 281802 | 358801 | 24,4745 |
| 600 | 1885,0 | 282743 | 360000 | 24,4949 |

| 601 … 650 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d أو n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 601 | 1888,1 | 283687 | 361201 | 24,5153 |
| 602 | 1891,2 | 284631 | 362404 | 24,5357 |
| 603 | 1894,4 | 285578 | 363609 | 24,5561 |
| 604 | 1897,5 | 286526 | 364816 | 24,5764 |
| 605 | 1900,7 | 287475 | 366025 | 24,5967 |
| 606 | 1903,8 | 288426 | 367236 | 24,6171 |
| 607 | 1906,9 | 289379 | 368449 | 24,6374 |
| 608 | 1910,1 | 290333 | 369664 | 24,6577 |
| 609 | 1913,2 | 291289 | 370881 | 24,6779 |
| 610 | 1916,4 | 292247 | 372100 | 24,6982 |
| 611 | 1919,5 | 293206 | 373321 | 24,7184 |
| 612 | 1922,7 | 294166 | 374544 | 24,7386 |
| 613 | 1925,8 | 295128 | 375769 | 24,7588 |
| 614 | 1928,9 | 296092 | 376996 | 24,7790 |
| 615 | 1932,1 | 297057 | 378225 | 24,7992 |
| 616 | 1935,2 | 298024 | 379456 | 24,8193 |
| 617 | 1938,4 | 298992 | 380689 | 24,8395 |
| 618 | 1941,5 | 299962 | 381924 | 24,8596 |
| 619 | 1944,6 | 300934 | 383161 | 24,8797 |
| 620 | 1947,8 | 301907 | 384400 | 24,8998 |
| 621 | 1950,9 | 302882 | 385641 | 24,9199 |
| 622 | 1954,1 | 303858 | 386884 | 24,9399 |
| 623 | 1957,2 | 304836 | 388129 | 24,9600 |
| 624 | 1960,4 | 305815 | 389376 | 24,9800 |
| 625 | 1963,5 | 306796 | 390625 | 25,0000 |
| 626 | 1966,6 | 307779 | 391876 | 25,0200 |
| 627 | 1969,8 | 308763 | 393129 | 25,0400 |
| 628 | 1972,9 | 309748 | 394384 | 25,0599 |
| 629 | 1976,1 | 310736 | 395641 | 25,0799 |
| 630 | 1979,2 | 311725 | 396900 | 25,0998 |
| 631 | 1982,3 | 312715 | 398161 | 25,1197 |
| 632 | 1985,5 | 313707 | 399424 | 25,1396 |
| 633 | 1988,6 | 314700 | 400689 | 25,1595 |
| 634 | 1991,8 | 315696 | 401956 | 25,1794 |
| 635 | 1994,9 | 316692 | 403225 | 25,1992 |
| 636 | 1998,1 | 317690 | 404496 | 25,2190 |
| 637 | 2001,2 | 318690 | 405769 | 25,2389 |
| 638 | 2004,3 | 319692 | 407044 | 25,2587 |
| 639 | 2007,5 | 320695 | 408321 | 25,2784 |
| 640 | 2010,6 | 321699 | 409600 | 25,2982 |
| 641 | 2013,8 | 322705 | 410881 | 25,3180 |
| 642 | 2016,9 | 323713 | 412164 | 25,3377 |
| 643 | 2020,0 | 324722 | 413449 | 25,3574 |
| 644 | 2023,2 | 325733 | 414736 | 25,3772 |
| 645 | 2026,3 | 326745 | 416025 | 25,3969 |
| 646 | 2029,5 | 327759 | 417316 | 25,4165 |
| 647 | 2032,6 | 328775 | 418609 | 25,4362 |
| 648 | 2035,8 | 329792 | 419904 | 25,4558 |
| 649 | 2038,9 | 330810 | 421201 | 25,4755 |
| 650 | 2042,0 | 331831 | 422500 | 25,4951 |

| 651 … 700 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d أو n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 651 | 2045,2 | 332853 | 423801 | 25,5147 |
| 652 | 2048,3 | 333876 | 425104 | 25,5343 |
| 653 | 2051,5 | 334901 | 426409 | 25,5539 |
| 654 | 2054,6 | 335927 | 427716 | 25,5734 |
| 655 | 2057,7 | 336955 | 429025 | 25,5930 |
| 656 | 2060,9 | 337985 | 430336 | 25,6125 |
| 657 | 2064,0 | 339016 | 431649 | 25,6320 |
| 658 | 2067,2 | 340049 | 432964 | 25,6515 |
| 659 | 2070,3 | 341084 | 434281 | 25,6710 |
| 660 | 2073,5 | 342119 | 435600 | 25,6905 |
| 661 | 2076,6 | 343157 | 436921 | 25,7099 |
| 662 | 2079,7 | 344196 | 438244 | 25,7294 |
| 663 | 2082,9 | 345237 | 439569 | 25,7488 |
| 664 | 2086,0 | 346279 | 440896 | 25,7682 |
| 665 | 2089,2 | 347323 | 442225 | 25,7876 |
| 666 | 2092,3 | 348368 | 443556 | 25,8070 |
| 667 | 2095,4 | 349415 | 444889 | 25,8263 |
| 668 | 2098,6 | 350464 | 446224 | 25,8457 |
| 669 | 2101,7 | 351514 | 447561 | 25,8650 |
| 670 | 2104,9 | 352565 | 448900 | 25,8844 |
| 671 | 2108,0 | 353618 | 450241 | 25,9037 |
| 672 | 2111,2 | 354673 | 451584 | 25,9230 |
| 673 | 2114,3 | 355730 | 452929 | 25,9422 |
| 674 | 2117,4 | 356788 | 454276 | 25,9615 |
| 675 | 2120,6 | 357847 | 455625 | 25,9808 |
| 676 | 2123,7 | 358908 | 456976 | 26,0000 |
| 677 | 2126,9 | 359971 | 458329 | 26,0192 |
| 678 | 2130,0 | 361035 | 459684 | 26,0384 |
| 679 | 2133,1 | 362101 | 461041 | 26,0576 |
| 680 | 2136,3 | 363168 | 462400 | 26,0768 |
| 681 | 2139,4 | 364237 | 463761 | 26,0960 |
| 682 | 2142,6 | 365308 | 465124 | 26,1151 |
| 683 | 2145,7 | 366380 | 466489 | 26,1343 |
| 684 | 2148,8 | 367453 | 467856 | 26,1534 |
| 685 | 2152,0 | 368528 | 469225 | 26,1725 |
| 686 | 2155,1 | 369605 | 470596 | 26,1916 |
| 687 | 2158,3 | 370684 | 471969 | 26,2107 |
| 688 | 2161,4 | 371764 | 473344 | 26,2298 |
| 689 | 2164,6 | 372845 | 474721 | 26,2488 |
| 690 | 2167,7 | 373928 | 476100 | 26,2679 |
| 691 | 2170,8 | 375013 | 477481 | 26,2869 |
| 692 | 2174,0 | 376099 | 478864 | 26,3059 |
| 693 | 2177,1 | 377187 | 480249 | 26,3249 |
| 694 | 2180,3 | 378276 | 481636 | 26,3439 |
| 695 | 2183,4 | 379367 | 483025 | 26,3629 |
| 696 | 2186,5 | 380459 | 484416 | 26,3818 |
| 697 | 2189,7 | 381553 | 485809 | 26,4008 |
| 698 | 2192,8 | 382649 | 487204 | 26,4197 |
| 699 | 2196,0 | 383746 | 488601 | 26,4386 |
| 700 | 2199,1 | 384845 | 490000 | 26,4575 |

| 701 … 750 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| d أو n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
| 701 | 2202,3 | 385945 | 491401 | 26,4764 |
| 702 | 2205,4 | 387047 | 492804 | 26,4953 |
| 703 | 2208,5 | 388151 | 494209 | 26,5141 |
| 704 | 2211,7 | 389256 | 495616 | 26,5330 |
| 705 | 2214,8 | 390363 | 497025 | 26,5518 |
| 706 | 2218,0 | 391471 | 498436 | 26,5707 |
| 707 | 2221,1 | 392580 | 499849 | 26,5895 |
| 708 | 2224,2 | 393692 | 501264 | 26,6083 |
| 709 | 2227,4 | 394805 | 502681 | 26,6271 |
| 710 | 2230,5 | 395919 | 504100 | 26,6458 |
| 711 | 2233,7 | 397035 | 505521 | 26,6646 |
| 712 | 2236,8 | 398153 | 506944 | 26,6833 |
| 713 | 2240,0 | 399272 | 508369 | 26,7021 |
| 714 | 2243,1 | 400393 | 509796 | 26,7208 |
| 715 | 2246,2 | 401515 | 511225 | 26,7395 |
| 716 | 2249,4 | 402639 | 512656 | 26,7582 |
| 717 | 2252,5 | 403765 | 514089 | 26,7769 |
| 718 | 2255,7 | 404892 | 515524 | 26,7955 |
| 719 | 2258,8 | 406020 | 516961 | 26,8142 |
| 720 | 2261,9 | 407150 | 518400 | 26,8328 |
| 721 | 2265,1 | 408282 | 519841 | 26,8514 |
| 722 | 2268,2 | 409415 | 521284 | 26,8701 |
| 723 | 2271,4 | 410550 | 522729 | 26,8887 |
| 724 | 2274,5 | 411687 | 524176 | 26,9072 |
| 725 | 2277,7 | 412825 | 525625 | 26,9258 |
| 726 | 2280,8 | 413965 | 527076 | 26,9444 |
| 727 | 2283,9 | 415106 | 528529 | 26,9629 |
| 728 | 2287,1 | 416248 | 529984 | 26,9815 |
| 729 | 2290,2 | 417393 | 531441 | 27,0000 |
| 730 | 2293,4 | 418539 | 532900 | 27,0185 |
| 731 | 2296,5 | 419686 | 534361 | 27,0370 |
| 732 | 2299,6 | 420835 | 535824 | 27,0555 |
| 733 | 2302,8 | 421986 | 537289 | 27,0740 |
| 734 | 2305,9 | 423138 | 538756 | 27,0924 |
| 735 | 2309,1 | 424293 | 540225 | 27,1109 |
| 736 | 2312,2 | 425447 | 541696 | 27,1293 |
| 737 | 2315,4 | 426604 | 543169 | 27,1477 |
| 738 | 2318,5 | 427762 | 544644 | 27,1662 |
| 739 | 2321,6 | 428922 | 546121 | 27,1846 |
| 740 | 2324,8 | 430084 | 547600 | 27,2029 |
| 741 | 2327,9 | 431247 | 549081 | 27,2213 |
| 742 | 2331,1 | 432412 | 550564 | 27,2397 |
| 743 | 2334,2 | 433587 | 552049 | 27,2580 |
| 744 | 2337,3 | 434746 | 553536 | 27,2764 |
| 745 | 2340,5 | 435916 | 555025 | 27,2947 |
| 746 | 2343,6 | 437087 | 556516 | 27,3130 |
| 747 | 2346,8 | 438259 | 558009 | 27,3313 |
| 748 | 2349,9 | 439433 | 559504 | 27,3496 |
| 749 | 2353,1 | 440609 | 561001 | 27,3679 |
| 750 | 2356,2 | 441786 | 562500 | 27,3861 |

## 751…800

| d o n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 751 | 2359,3 | 442965 | 564001 | 27,4044 |
| 752 | 2362,5 | 444146 | 565504 | 27,4226 |
| 753 | 2365,6 | 445328 | 567009 | 27,4408 |
| 754 | 2368,8 | 446511 | 568516 | 27,4591 |
| 755 | 2371,9 | 447697 | 570025 | 27,4773 |
| 756 | 2375,0 | 448883 | 571536 | 27,4955 |
| 757 | 2378,2 | 450072 | 573049 | 27,5136 |
| 758 | 2381,3 | 451262 | 574564 | 27,5318 |
| 759 | 2384,5 | 452453 | 576081 | 27,5500 |
| 760 | 2387,6 | 453646 | 577600 | 27,5681 |
| 761 | 2390,8 | 454841 | 579121 | 27,5862 |
| 762 | 2393,9 | 456037 | 580644 | 27,6043 |
| 763 | 2397,0 | 457234 | 582169 | 27,6225 |
| 764 | 2400,2 | 458434 | 583696 | 27,6405 |
| 765 | 2403,3 | 459635 | 585225 | 27,6586 |
| 766 | 2406,5 | 460837 | 586756 | 27,6767 |
| 767 | 2409,6 | 462041 | 588289 | 27,6948 |
| 768 | 2412,7 | 463247 | 589824 | 27,7128 |
| 769 | 2415,9 | 464454 | 591361 | 27,7308 |
| 770 | 2419,0 | 465663 | 592900 | 27,7489 |
| 771 | 2422,2 | 466873 | 594441 | 27,7669 |
| 772 | 2425,3 | 468085 | 595984 | 27,7849 |
| 773 | 2428,5 | 469298 | 597529 | 27,8029 |
| 774 | 2431,6 | 470513 | 599076 | 27,8209 |
| 775 | 2434,7 | 471730 | 600625 | 27,8388 |
| 776 | 2437,9 | 472948 | 602176 | 27,8568 |
| 777 | 2441,0 | 474168 | 603729 | 27,8747 |
| 778 | 2444,2 | 475389 | 605284 | 27,8927 |
| 779 | 2447,3 | 476612 | 606841 | 27,9106 |
| 780 | 2450,4 | 477836 | 608400 | 27,9285 |
| 781 | 2453,6 | 479062 | 609961 | 27,9464 |
| 782 | 2456,7 | 480290 | 611524 | 27,9643 |
| 783 | 2459,9 | 481519 | 613089 | 27,9821 |
| 784 | 2463,0 | 482750 | 614656 | 28,0000 |
| 785 | 2466,2 | 483982 | 616225 | 28,0179 |
| 786 | 2469,3 | 485216 | 617796 | 28,0357 |
| 787 | 2472,4 | 486451 | 619369 | 28,0535 |
| 788 | 2475,6 | 487688 | 620944 | 28,0713 |
| 789 | 2478,7 | 488927 | 622521 | 28,0891 |
| 790 | 2481,9 | 490167 | 624100 | 28,1069 |
| 791 | 2485,0 | 491409 | 625681 | 28,1247 |
| 792 | 2488,1 | 492652 | 627264 | 28,1425 |
| 793 | 2491,3 | 493897 | 628849 | 28,1603 |
| 794 | 2494,4 | 495143 | 630436 | 28,1780 |
| 795 | 2497,6 | 496391 | 632025 | 28,1957 |
| 796 | 2500,7 | 497641 | 633616 | 28,2135 |
| 797 | 2503,8 | 498892 | 635209 | 28,2312 |
| 798 | 2507,0 | 500145 | 636804 | 28,2489 |
| 799 | 2510,1 | 501399 | 638401 | 28,2666 |
| 800 | 2513,3 | 502655 | 640000 | 28,2843 |

## 801…850

| d o n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 801 | 2516,4 | 503912 | 641601 | 28,3019 |
| 802 | 2519,6 | 505171 | 643204 | 28,3196 |
| 803 | 2522,7 | 506432 | 644809 | 28,3373 |
| 804 | 2525,8 | 507694 | 646416 | 28,3549 |
| 805 | 2529,0 | 508958 | 648025 | 28,3725 |
| 806 | 2532,1 | 510223 | 649636 | 28,3901 |
| 807 | 2535,3 | 511490 | 651249 | 28,4077 |
| 808 | 2538,4 | 512758 | 652864 | 28,4253 |
| 809 | 2541,5 | 514028 | 654481 | 28,4429 |
| 810 | 2544,7 | 515300 | 656100 | 28,4605 |
| 811 | 2547,8 | 516573 | 657721 | 28,4781 |
| 812 | 2551,0 | 517848 | 659344 | 28,4956 |
| 813 | 2554,1 | 519124 | 660969 | 28,5132 |
| 814 | 2557,3 | 520402 | 662596 | 28,5307 |
| 815 | 2560,4 | 521681 | 664225 | 28,5482 |
| 816 | 2563,5 | 522962 | 665856 | 28,5657 |
| 817 | 2566,7 | 524245 | 667489 | 28,5832 |
| 818 | 2569,8 | 525529 | 669124 | 28,6007 |
| 819 | 2573,0 | 526814 | 670761 | 28,6182 |
| 820 | 2576,1 | 528102 | 672400 | 28,6356 |
| 821 | 2579,2 | 529391 | 674041 | 28,6531 |
| 822 | 2582,4 | 530681 | 675684 | 28,6705 |
| 823 | 2585,5 | 531973 | 677329 | 28,6880 |
| 824 | 2588,7 | 533267 | 678976 | 28,7054 |
| 825 | 2591,8 | 534562 | 680625 | 28,7228 |
| 826 | 2595,0 | 535858 | 682276 | 28,7402 |
| 827 | 2598,1 | 537157 | 683929 | 28,7576 |
| 828 | 2601,2 | 538456 | 685584 | 28,7750 |
| 829 | 2604,4 | 539758 | 687241 | 28,7924 |
| 830 | 2607,5 | 541061 | 688900 | 28,8097 |
| 831 | 2610,7 | 542365 | 690561 | 28,8271 |
| 832 | 2613,8 | 543671 | 692224 | 28,8444 |
| 833 | 2616,9 | 544979 | 693889 | 28,8617 |
| 834 | 2620,1 | 546288 | 695556 | 28,8791 |
| 835 | 2623,2 | 547599 | 697225 | 28,8964 |
| 836 | 2626,4 | 548912 | 698896 | 28,9137 |
| 837 | 2629,5 | 550226 | 700569 | 28,9310 |
| 838 | 2632,7 | 551541 | 702244 | 28,9482 |
| 839 | 2635,8 | 552858 | 703921 | 28,9655 |
| 840 | 2638,9 | 554177 | 705600 | 28,9828 |
| 841 | 2642,1 | 555497 | 707281 | 29,0000 |
| 842 | 2645,2 | 556819 | 708964 | 29,0172 |
| 843 | 2648,4 | 558142 | 710649 | 29,0345 |
| 844 | 2651,5 | 559467 | 712336 | 29,0517 |
| 845 | 2654,6 | 560794 | 714025 | 29,0689 |
| 846 | 2657,8 | 562122 | 715716 | 29,0861 |
| 847 | 2660,9 | 563452 | 717409 | 29,1033 |
| 848 | 2664,1 | 564783 | 719104 | 29,1204 |
| 849 | 2667,2 | 566116 | 720801 | 29,1376 |
| 850 | 2670,4 | 567450 | 722500 | 29,1548 |

## 851…900

| d o n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 851 | 2673,5 | 568786 | 724201 | 29,1719 |
| 852 | 2676,6 | 570124 | 725904 | 29,1890 |
| 853 | 2679,8 | 571463 | 727609 | 29,2062 |
| 854 | 2682,9 | 572803 | 729316 | 29,2233 |
| 855 | 2686,1 | 574146 | 731025 | 29,2404 |
| 856 | 2689,2 | 575490 | 732736 | 29,2575 |
| 857 | 2692,3 | 576835 | 734449 | 29,2746 |
| 858 | 2695,5 | 578182 | 736164 | 29,2916 |
| 859 | 2698,6 | 579530 | 737881 | 29,3087 |
| 860 | 2701,8 | 580880 | 739600 | 29,3258 |
| 861 | 2704,9 | 582232 | 741321 | 29,3428 |
| 862 | 2708,1 | 583585 | 743044 | 29,3598 |
| 863 | 2711,2 | 584940 | 744769 | 29,3769 |
| 864 | 2714,3 | 586297 | 746496 | 29,3939 |
| 865 | 2717,5 | 587655 | 748225 | 29,4109 |
| 866 | 2720,6 | 589014 | 749956 | 29,4279 |
| 867 | 2723,8 | 590375 | 751689 | 29,4449 |
| 868 | 2726,9 | 591738 | 753424 | 29,4618 |
| 869 | 2730,0 | 593102 | 755161 | 29,4788 |
| 870 | 2733,2 | 594468 | 756900 | 29,4958 |
| 871 | 2736,3 | 595835 | 758641 | 29,5127 |
| 872 | 2739,5 | 597204 | 760384 | 29,5296 |
| 873 | 2742,6 | 598575 | 762129 | 29,5466 |
| 874 | 2745,8 | 599947 | 763876 | 29,5635 |
| 875 | 2748,9 | 601320 | 765625 | 29,5804 |
| 876 | 2752,0 | 602696 | 767376 | 29,5973 |
| 877 | 2755,2 | 604073 | 769129 | 29,6142 |
| 878 | 2758,3 | 605451 | 770884 | 29,6311 |
| 879 | 2761,5 | 606831 | 772641 | 29,6479 |
| 880 | 2764,6 | 608212 | 774400 | 29,6648 |
| 881 | 2767,7 | 609595 | 776161 | 29,6816 |
| 882 | 2770,9 | 610980 | 777924 | 29,6985 |
| 883 | 2774,0 | 612366 | 779689 | 29,7153 |
| 884 | 2777,2 | 613754 | 781456 | 29,7321 |
| 885 | 2780,3 | 615143 | 783225 | 29,7489 |
| 886 | 2783,5 | 616534 | 784996 | 29,7658 |
| 887 | 2786,6 | 617927 | 786769 | 29,7825 |
| 888 | 2789,7 | 619321 | 788544 | 29,7993 |
| 889 | 2792,9 | 620717 | 790321 | 29,8161 |
| 890 | 2796,0 | 622114 | 792100 | 29,8329 |
| 891 | 2799,2 | 623513 | 793881 | 29,8496 |
| 892 | 2802,3 | 624913 | 795664 | 29,8664 |
| 893 | 2805,4 | 626315 | 797449 | 29,8831 |
| 894 | 2808,6 | 627718 | 799236 | 29,8998 |
| 895 | 2811,7 | 629124 | 801025 | 29,9166 |
| 896 | 2814,9 | 630530 | 802816 | 29,9333 |
| 897 | 2818,0 | 631938 | 804609 | 29,9500 |
| 898 | 2821,2 | 633348 | 806404 | 29,9666 |
| 899 | 2824,3 | 634760 | 808201 | 29,9833 |
| 900 | 2827,4 | 636173 | 810000 | 30,0000 |

## 901…950

| d o n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 901 | 2830,6 | 637587 | 811801 | 30,0167 |
| 902 | 2833,7 | 639003 | 813604 | 30,0333 |
| 903 | 2836,9 | 640421 | 815409 | 30,0500 |
| 904 | 2840,0 | 641840 | 817216 | 30,0666 |
| 905 | 2843,1 | 643261 | 819025 | 30,0832 |
| 906 | 2846,3 | 644683 | 820836 | 30,0998 |
| 907 | 2849,4 | 646107 | 822649 | 30,1164 |
| 908 | 2852,6 | 647533 | 824464 | 30,1330 |
| 909 | 2855,7 | 648960 | 826281 | 30,1496 |
| 910 | 2858,8 | 650388 | 828100 | 30,1662 |
| 911 | 2862,0 | 651818 | 829921 | 30,1828 |
| 912 | 2865,1 | 653250 | 831744 | 30,1993 |
| 913 | 2868,3 | 654684 | 833569 | 30,2159 |
| 914 | 2871,4 | 656118 | 835396 | 30,2324 |
| 915 | 2874,6 | 657555 | 837225 | 30,2490 |
| 916 | 2877,7 | 658993 | 839056 | 30,2655 |
| 917 | 2880,8 | 660433 | 840889 | 30,2820 |
| 918 | 2884,0 | 661874 | 842724 | 30,2985 |
| 919 | 2887,1 | 663317 | 844561 | 30,3150 |
| 920 | 2890,3 | 664761 | 846400 | 30,3315 |
| 921 | 2893,4 | 666207 | 848241 | 30,3480 |
| 922 | 2896,5 | 667654 | 850084 | 30,3645 |
| 923 | 2899,7 | 669103 | 851929 | 30,3809 |
| 924 | 2902,8 | 670554 | 853776 | 30,3974 |
| 925 | 2906,0 | 672006 | 855625 | 30,4138 |
| 926 | 2909,1 | 673460 | 857476 | 30,4302 |
| 927 | 2912,3 | 674915 | 859329 | 30,4467 |
| 928 | 2915,4 | 676372 | 861184 | 30,4631 |
| 929 | 2918,5 | 677831 | 863041 | 30,4795 |
| 930 | 2921,7 | 679291 | 864900 | 30,4959 |
| 931 | 2924,8 | 680752 | 866761 | 30,5123 |
| 932 | 2928,0 | 682216 | 868624 | 30,5287 |
| 933 | 2931,1 | 683680 | 870489 | 30,5450 |
| 934 | 2934,2 | 685147 | 872356 | 30,5614 |
| 935 | 2937,4 | 686615 | 874225 | 30,5778 |
| 936 | 2940,5 | 688084 | 876096 | 30,5941 |
| 937 | 2943,7 | 689555 | 877969 | 30,6105 |
| 938 | 2946,8 | 691028 | 879844 | 30,6268 |
| 939 | 2950,0 | 692502 | 881721 | 30,6431 |
| 940 | 2953,1 | 693978 | 883600 | 30,6594 |
| 941 | 2956,2 | 695455 | 885481 | 30,6757 |
| 942 | 2959,4 | 696934 | 887364 | 30,6920 |
| 943 | 2962,5 | 698415 | 889249 | 30,7083 |
| 944 | 2965,7 | 699897 | 891136 | 30,7246 |
| 945 | 2968,8 | 701380 | 893025 | 30,7409 |
| 946 | 2971,9 | 702865 | 894916 | 30,7571 |
| 947 | 2975,1 | 704352 | 896809 | 30,7734 |
| 948 | 2978,2 | 705840 | 898704 | 30,7896 |
| 949 | 2981,4 | 707330 | 900601 | 30,8058 |
| 950 | 2984,5 | 708822 | 902500 | 30,8221 |

## 951…1000

| d o n | $d \cdot \pi$ | $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ | $n^2$ | $\sqrt{n}$ |
|---|---|---|---|---|
| 951 | 2987,7 | 710315 | 904401 | 30,8383 |
| 952 | 2990,8 | 711809 | 906304 | 30,8545 |
| 953 | 2993,9 | 713306 | 908209 | 30,8707 |
| 954 | 2997,1 | 714803 | 910116 | 30,8869 |
| 955 | 3000,2 | 716303 | 912025 | 30,9031 |
| 956 | 3003,4 | 717804 | 913936 | 30,9192 |
| 957 | 3006,5 | 719306 | 915849 | 30,9354 |
| 958 | 3009,6 | 720810 | 917764 | 30,9516 |
| 959 | 3012,8 | 722316 | 919681 | 30,9677 |
| 960 | 3015,9 | 723823 | 921600 | 30,9839 |
| 961 | 3019,1 | 725332 | 923521 | 31,0000 |
| 962 | 3022,2 | 726842 | 925444 | 31,0161 |
| 963 | 3025,4 | 728354 | 927369 | 31,0322 |
| 964 | 3028,5 | 729867 | 929296 | 31,0483 |
| 965 | 3031,6 | 731382 | 931225 | 31,0644 |
| 966 | 3034,8 | 732899 | 933156 | 31,0805 |
| 967 | 3037,9 | 734417 | 935089 | 31,0966 |
| 968 | 3041,1 | 735937 | 937024 | 31,1127 |
| 969 | 3044,2 | 737458 | 938961 | 31,1288 |
| 970 | 3047,3 | 738981 | 940900 | 31,1448 |
| 971 | 3050,5 | 740506 | 942841 | 31,1609 |
| 972 | 3053,6 | 742032 | 944784 | 31,1769 |
| 973 | 3056,8 | 743559 | 946729 | 31,1929 |
| 974 | 3059,9 | 745088 | 948676 | 31,2090 |
| 975 | 3063,1 | 746619 | 950625 | 31,2250 |
| 976 | 3066,2 | 748151 | 952576 | 31,2410 |
| 977 | 3069,3 | 749685 | 954529 | 31,2570 |
| 978 | 3072,5 | 751221 | 956484 | 31,2730 |
| 979 | 3075,6 | 752758 | 958441 | 31,2890 |
| 980 | 3078,8 | 754296 | 960400 | 31,3050 |
| 981 | 3081,9 | 755837 | 962361 | 31,3209 |
| 982 | 3085,0 | 757378 | 964324 | 31,3369 |
| 983 | 3088,2 | 758922 | 966289 | 31,3528 |
| 984 | 3091,3 | 760466 | 968256 | 31,3688 |
| 985 | 3094,5 | 762013 | 970225 | 31,3847 |
| 986 | 3097,6 | 763561 | 972196 | 31,4006 |
| 987 | 3100,8 | 765111 | 974169 | 31,4166 |
| 988 | 3103,9 | 766662 | 976144 | 31,4325 |
| 989 | 3107,0 | 768214 | 978121 | 31,4484 |
| 990 | 3110,2 | 769769 | 980100 | 31,4643 |
| 991 | 3113,3 | 771325 | 982081 | 31,4802 |
| 992 | 3116,5 | 772882 | 984064 | 31,4960 |
| 993 | 3119,6 | 774441 | 986049 | 31,5119 |
| 994 | 3122,7 | 776002 | 988036 | 31,5278 |
| 995 | 3125,9 | 777564 | 990025 | 31,5436 |
| 996 | 3129,0 | 779128 | 992016 | 31,5595 |
| 997 | 3132,2 | 780693 | 994009 | 31,5753 |
| 998 | 3135,3 | 782260 | 996004 | 31,5911 |
| 999 | 3138,5 | 783828 | 998001 | 31,6070 |
| 1000 | 3141,6 | 785398 | 1000000 | 31,6228 |

## tan 0…tan 45°

| grd. \ min. | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 0,0000 | 0,0029 | 0,0058 | 0,0087 | 0,0116 | 0,0145 | 0,0175 | 89 |
| 1 | 0,0175 | 0,0204 | 0,0233 | 0,0262 | 0,0291 | 0,0320 | 0,0349 | 88 |
| 2 | 0,0349 | 0,0378 | 0,0407 | 0,0437 | 0,0466 | 0,0495 | 0,0524 | 87 |
| 3 | 0,0524 | 0,0553 | 0,0582 | 0,0612 | 0,0641 | 0,0670 | 0,0699 | 86 |
| 4 | 0,0699 | 0,0729 | 0,0758 | 0,0787 | 0,0816 | 0,0846 | 0,0875 | 85 |
| 5 | 0,0875 | 0,0904 | 0,0934 | 0,0963 | 0,0992 | 0,1022 | 0,1051 | 84 |
| 6 | 0,1051 | 0,1080 | 0,1110 | 0,1139 | 0,1169 | 0,1198 | 0,1228 | 83 |
| 7 | 0,1228 | 0,1257 | 0,1287 | 0,1317 | 0,1346 | 0,1376 | 0,1405 | 82 |
| 8 | 0,1405 | 0,1435 | 0,1465 | 0,1495 | 0,1524 | 0,1554 | 0,1584 | 81 |
| 9 | 0,1584 | 0,1614 | 0,1644 | 0,1673 | 0,1703 | 0,1733 | 0,1763 | **80** |
| **10** | 0,1763 | 0,1793 | 0,1823 | 0,1853 | 0,1883 | 0,1914 | 0,1944 | 79 |
| 11 | 0,1944 | 0,1974 | 0,2004 | 0,2035 | 0,2065 | 0,2095 | 0,2126 | 78 |
| 12 | 0,2126 | 0,2156 | 0,2186 | 0,2217 | 0,2247 | 0,2278 | 0,2309 | 77 |
| 13 | 0,2309 | 0,2339 | 0,2370 | 0,2401 | 0,2432 | 0,2462 | 0,2493 | 76 |
| 14 | 0,2493 | 0,2524 | 0,2555 | 0,2586 | 0,2617 | 0,2648 | 0,2679 | 75 |
| 15 | 0,2679 | 0,2711 | 0,2742 | 0,2773 | 0,2805 | 0,2836 | 0,2867 | 74 |
| 16 | 0,2867 | 0,2899 | 0,2931 | 0,2962 | 0,2994 | 0,3026 | 0,3057 | 73 |
| 17 | 0,3057 | 0,3089 | 0,3121 | 0,3153 | 0,3185 | 0,3217 | 0,3249 | 72 |
| 18 | 0,3249 | 0,3281 | 0,3314 | 0,3346 | 0,3378 | 0,3411 | 0,3443 | 71 |
| 19 | 0,3443 | 0,3476 | 0,3508 | 0,3541 | 0,3574 | 0,3607 | 0,3640 | **70** |
| **20** | 0,3640 | 0,3673 | 0,3706 | 0,3739 | 0,3772 | 0,3805 | 0,3839 | 69 |
| 21 | 0,3839 | 0,3872 | 0,3906 | 0,3939 | 0,3973 | 0,4006 | 0,4040 | 68 |
| 22 | 0,4040 | 0,4074 | 0,4108 | 0,4142 | 0,4176 | 0,4210 | 0,4245 | 67 |
| 23 | 0,4245 | 0,4279 | 0,4314 | 0,4348 | 0,4383 | 0,4417 | 0,4452 | 66 |
| 24 | 0,4452 | 0,4487 | 0,4522 | 0,4557 | 0,4592 | 0,4628 | 0,4663 | 65 |
| 25 | 0,4663 | 0,4699 | 0,4734 | 0,4770 | 0,4806 | 0,4841 | 0,4877 | 64 |
| 26 | 0,4877 | 0,4913 | 0,4950 | 0,4986 | 0,5022 | 0,5059 | 0,5095 | 63 |
| 27 | 0,5095 | 0,5132 | 0,5169 | 0,5206 | 0,5243 | 0,5280 | 0,5317 | 62 |
| 28 | 0,5317 | 0,5354 | 0,5392 | 0,5430 | 0,5467 | 0,5505 | 0,5543 | 61 |
| 29 | 0,5543 | 0,5581 | 0,5619 | 0,5658 | 0,5696 | 0,5735 | 0,5774 | **60** |
| **30** | 0,5774 | 0,5812 | 0,5851 | 0,5890 | 0,5930 | 0,5969 | 0,6009 | 59 |
| 31 | 0,6009 | 0,6048 | 0,6088 | 0,6128 | 0,6168 | 0,6208 | 0,6249 | 58 |
| 32 | 0,6249 | 0,6289 | 0,6330 | 0,6371 | 0,6412 | 0,6453 | 0,6494 | 57 |
| 33 | 0,6494 | 0,6536 | 0,6577 | 0,6619 | 0,6661 | 0,6703 | 0,6745 | 56 |
| 34 | 0,6745 | 0,6787 | 0,6830 | 0,6873 | 0,6916 | 0,6959 | 0,7002 | 55 |
| 35 | 0,7002 | 0,7046 | 0,7089 | 0,7133 | 0,7177 | 0,7221 | 0,7265 | 54 |
| 36 | 0,7265 | 0,7310 | 0,7355 | 0,7400 | 0,7445 | 0,7490 | 0,7536 | 53 |
| 37 | 0,7536 | 0,7581 | 0,7627 | 0,7673 | 0,7720 | 0,7766 | 0,7813 | 52 |
| 38 | 0,7813 | 0,7860 | 0,7907 | 0,7954 | 0,8002 | 0,8050 | 0,8098 | 51 |
| 39 | 0,8098 | 0,8146 | 0,8195 | 0,8243 | 0,8292 | 0,8342 | 0,8391 | **50** |
| **40** | 0,8391 | 0,8441 | 0,8491 | 0,8541 | 0,8591 | 0,8642 | 0,8693 | 49 |
| 41 | 0,8693 | 0,8744 | 0,8796 | 0,8847 | 0,8899 | 0,8952 | 0,9004 | 48 |
| 42 | 0,9004 | 0,9057 | 0,9110 | 0,9163 | 0,9217 | 0,9271 | 0,9325 | 47 |
| 43 | 0,9325 | 0,9380 | 0,9435 | 0,9490 | 0,9545 | 0,9601 | 0,9657 | 46 |
| 44 | 0,9657 | 0,9713 | 0,9770 | 0,9827 | 0,9884 | 0,9942 | 1,0000 | 45 |
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | min. / grd. |

**cot 45…cot 90°**

## tan 45…tan 90°

| grd. \ min. | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 1,0000 | 1,0058 | 1,0117 | 1,0176 | 1,0235 | 1,0295 | 1,0355 | 44 |
| 46 | 1,0355 | 1,0416 | 1,0477 | 1,0538 | 1,0599 | 1,0661 | 1,0724 | 43 |
| 47 | 1,0724 | 1,0786 | 1,0850 | 1,0913 | 1,0977 | 1,1041 | 1,1106 | 42 |
| 48 | 1,1106 | 1,1171 | 1,1237 | 1,1303 | 1,1369 | 1,1436 | 1,1504 | 41 |
| 49 | 1,1504 | 1,1571 | 1,1640 | 1,1708 | 1,1778 | 1,1847 | 1,1918 | **40** |
| **50** | 1,1918 | 1,1988 | 1,2059 | 1,2131 | 1,2203 | 1,2276 | 1,2349 | 39 |
| 51 | 1,2349 | 1,2423 | 1,2497 | 1,2572 | 1,2647 | 1,2723 | 1,2799 | 38 |
| 52 | 1,2799 | 1,2876 | 1,2954 | 1,3032 | 1,3111 | 1,3190 | 1,3270 | 37 |
| 53 | 1,3270 | 1,3351 | 1,3432 | 1,3514 | 1,3597 | 1,3680 | 1,3764 | 36 |
| 54 | 1,3764 | 1,3848 | 1,3934 | 1,4019 | 1,4106 | 1,4193 | 1,4281 | 35 |
| 55 | 1,4281 | 1,4370 | 1,4460 | 1,4550 | 1,4641 | 1,4733 | 1,4826 | 34 |
| 56 | 1,4826 | 1,4919 | 1,5013 | 1,5108 | 1,5204 | 1,5301 | 1,5399 | 33 |
| 57 | 1,5399 | 1,5497 | 1,5597 | 1,5697 | 1,5798 | 1,5900 | 1,6003 | 32 |
| 58 | 1,6003 | 1,6107 | 1,6213 | 1,6318 | 1,6426 | 1,6534 | 1,6643 | 31 |
| 59 | 1,6643 | 1,6753 | 1,6864 | 1,6977 | 1,7090 | 1,7205 | 1,7321 | **30** |
| **60** | 1,7321 | 1,7438 | 1,7556 | 1,7675 | 1,7796 | 1,7917 | 1,8041 | 29 |
| 61 | 1,8041 | 1,8165 | 1,8291 | 1,8418 | 1,8546 | 1,8676 | 1,8807 | 28 |
| 62 | 1,8807 | 1,8940 | 1,9074 | 1,9210 | 1,9347 | 1,9486 | 1,9626 | 27 |
| 63 | 1,9626 | 1,9768 | 1,9912 | 2,0057 | 2,0204 | 2,0353 | 2,0503 | 26 |
| 64 | 2,0503 | 2,0655 | 2,0809 | 2,0965 | 2,1123 | 2,1283 | 2,1445 | 25 |
| 65 | 2,1445 | 2,1609 | 2,1775 | 2,1943 | 2,2113 | 2,2286 | 2,2460 | 24 |
| 66 | 2,2460 | 2,2637 | 2,2817 | 2,2998 | 2,3183 | 2,3369 | 2,3558 | 23 |
| 67 | 2,3559 | 2,3750 | 2,3945 | 2,4142 | 2,4342 | 2,4545 | 2,4751 | 22 |
| 68 | 2,4751 | 2,4960 | 2,5172 | 2,5387 | 2,5605 | 2,5826 | 2,6051 | 21 |
| 69 | 2,6051 | 2,6279 | 2,6511 | 2,6746 | 2,6985 | 2,7228 | 2,7475 | **20** |
| **70** | 2,7475 | 2,7725 | 2,7980 | 2,8239 | 2,8502 | 2,8770 | 2,9042 | 19 |
| 71 | 2,9042 | 2,9319 | 2,9600 | 2,9887 | 3,0178 | 3,0475 | 3,0777 | 18 |
| 72 | 3,0777 | 3,1084 | 3,1397 | 3,1716 | 3,2041 | 3,2371 | 3,2709 | 17 |
| 73 | 3,2709 | 3,3052 | 3,3402 | 3,3759 | 3,4124 | 3,4495 | 3,4874 | 16 |
| 74 | 3,4874 | 3,5261 | 3,5656 | 3,6059 | 3,6470 | 3,6891 | 3,7321 | 15 |
| 75 | 3,7321 | 3,7760 | 3,8208 | 3,8667 | 3,9136 | 3,9617 | 4,0108 | 14 |
| 76 | 4,0108 | 4,0611 | 4,1126 | 4,1653 | 4,2193 | 4,2747 | 4,3315 | 13 |
| 77 | 4,3315 | 4,3897 | 4,4494 | 4,5107 | 4,5736 | 4,6383 | 4,7046 | 12 |
| 78 | 4,7046 | 4,7729 | 4,8430 | 4,9152 | 4,9894 | 5,0658 | 5,1446 | 11 |
| 79 | 5,1446 | 5,2257 | 5,3093 | 5,3955 | 5,4845 | 5,5764 | 5,6713 | **10** |
| **80** | 5,6713 | 5,7694 | 5,8708 | 5,9758 | 6,0844 | 6,1970 | 6,3138 | 9 |
| 81 | 6,3138 | 6,4348 | 6,5605 | 6,6912 | 6,8269 | 6,9682 | 7,1154 | 8 |
| 82 | 7,1154 | 7,2687 | 7,4287 | 7,5958 | 7,7704 | 7,9530 | 8,1444 | 7 |
| 83 | 8,1444 | 8,3450 | 8,5556 | 8,7769 | 9,0098 | 9,2553 | 9,5144 | 6 |
| 84 | 9,5144 | 9,7882 | 10,0780 | 10,3854 | 10,7019 | 11,0594 | 11,4301 | 5 |
| 85 | 11,4301 | 11,8262 | 12,2505 | 12,7062 | 13,1969 | 13,7267 | 14,3007 | 4 |
| 86 | 14,3007 | 14,9244 | 15,6048 | 16,3499 | 17,1693 | 18,0750 | 19,0811 | 3 |
| 87 | 19,0811 | 20,2056 | 21,4704 | 22,9038 | 24,5418 | 26,4316 | 28,6363 | 2 |
| 88 | 28,6363 | 31,2416 | 34,3678 | 38,1885 | 42,9641 | 49,1039 | 57,2900 | 1 |
| 89 | 57,2900 | 68,7501 | 85,9398 | 114,5887 | 171,885 | 343,774 | ∞ | **0** |
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | min. / grd. |

**cot 0…cot 45°**

## sin 0…sin 45°

| grd. \ min. | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 0,0000 | 0,0029 | 0,0058 | 0,0087 | 0,0116 | 0,0145 | 0,0175 | 89 |
| 1 | 0,0175 | 0,0204 | 0,0233 | 0,0262 | 0,0291 | 0,0320 | 0,0349 | 88 |
| 2 | 0,0349 | 0,0378 | 0,0407 | 0,0436 | 0,0465 | 0,0494 | 0,0523 | 87 |
| 3 | 0,0523 | 0,0552 | 0,0581 | 0,0610 | 0,0640 | 0,0669 | 0,0698 | 86 |
| 4 | 0,0698 | 0,0727 | 0,0756 | 0,0785 | 0,0814 | 0,0843 | 0,0872 | 85 |
| 5 | 0,0872 | 0,0901 | 0,0929 | 0,0958 | 0,0987 | 0,1016 | 0,1045 | 84 |
| 6 | 0,1045 | 0,1074 | 0,1103 | 0,1132 | 0,1161 | 0,1190 | 0,1219 | 83 |
| 7 | 0,1219 | 0,1248 | 0,1276 | 0,1305 | 0,1334 | 0,1363 | 0,1392 | 82 |
| 8 | 0,1392 | 0,1421 | 0,1449 | 0,1478 | 0,1507 | 0,1536 | 0,1564 | 81 |
| 9 | 0,1564 | 0,1593 | 0,1622 | 0,1650 | 0,1679 | 0,1708 | 0,1736 | **80** |
| **10** | 0,1736 | 0,1765 | 0,1794 | 0,1822 | 0,1851 | 0,1880 | 0,1908 | 79 |
| 11 | 0,1908 | 0,1937 | 0,1965 | 0,1994 | 0,2022 | 0,2051 | 0,2079 | 78 |
| 12 | 0,2079 | 0,2108 | 0,2136 | 0,2164 | 0,2193 | 0,2221 | 0,2250 | 77 |
| 13 | 0,2250 | 0,2278 | 0,2306 | 0,2334 | 0,2363 | 0,2391 | 0,2419 | 76 |
| 14 | 0,2419 | 0,2447 | 0,2476 | 0,2504 | 0,2532 | 0,2560 | 0,2588 | 75 |
| 15 | 0,2588 | 0,2616 | 0,2644 | 0,2672 | 0,2700 | 0,2728 | 0,2756 | 74 |
| 16 | 0,2756 | 0,2784 | 0,2812 | 0,2840 | 0,2868 | 0,2896 | 0,2924 | 73 |
| 17 | 0,2924 | 0,2952 | 0,2979 | 0,3007 | 0,3035 | 0,3062 | 0,3090 | 72 |
| 18 | 0,3090 | 0,3118 | 0,3145 | 0,3173 | 0,3201 | 0,3228 | 0,3256 | 71 |
| 19 | 0,3256 | 0,3283 | 0,3311 | 0,3338 | 0,3365 | 0,3393 | 0,3420 | **70** |
| **20** | 0,3420 | 0,3448 | 0,3475 | 0,3502 | 0,3529 | 0,3557 | 0,3584 | 69 |
| 21 | 0,3584 | 0,3611 | 0,3638 | 0,3665 | 0,3692 | 0,3719 | 0,3746 | 68 |
| 22 | 0,3746 | 0,3773 | 0,3800 | 0,3827 | 0,3854 | 0,3881 | 0,3907 | 67 |
| 23 | 0,3907 | 0,3934 | 0,3961 | 0,3987 | 0,4014 | 0,4041 | 0,4067 | 66 |
| 24 | 0,4067 | 0,4094 | 0,4120 | 0,4147 | 0,4173 | 0,4200 | 0,4226 | 65 |
| 25 | 0,4226 | 0,4253 | 0,4279 | 0,4305 | 0,4331 | 0,4358 | 0,4384 | 64 |
| 26 | 0,4384 | 0,4410 | 0,4436 | 0,4462 | 0,4488 | 0,4514 | 0,4540 | 63 |
| 27 | 0,4540 | 0,4566 | 0,4592 | 0,4617 | 0,4643 | 0,4669 | 0,4695 | 62 |
| 28 | 0,4695 | 0,4720 | 0,4746 | 0,4772 | 0,4797 | 0,4823 | 0,4848 | 61 |
| 29 | 0,4848 | 0,4874 | 0,4899 | 0,4924 | 0,4950 | 0,4975 | 0,5000 | **60** |
| **30** | 0,5000 | 0,5025 | 0,5050 | 0,5075 | 0,5100 | 0,5125 | 0,5150 | 59 |
| 31 | 0,5150 | 0,5175 | 0,5200 | 0,5225 | 0,5250 | 0,5275 | 0,5299 | 58 |
| 32 | 0,5299 | 0,5324 | 0,5348 | 0,5373 | 0,5398 | 0,5422 | 0,5446 | 57 |
| 33 | 0,5446 | 0,5471 | 0,5495 | 0,5519 | 0,5544 | 0,5568 | 0,5592 | 56 |
| 34 | 0,5592 | 0,5616 | 0,5640 | 0,5664 | 0,5688 | 0,5712 | 0,5736 | 55 |
| 35 | 0,5736 | 0,5760 | 0,5783 | 0,5807 | 0,5831 | 0,5854 | 0,5878 | 54 |
| 36 | 0,5878 | 0,5901 | 0,5925 | 0,5948 | 0,5972 | 0,5995 | 0,6018 | 53 |
| 37 | 0,6018 | 0,6041 | 0,6065 | 0,6088 | 0,6111 | 0,6134 | 0,6157 | 52 |
| 38 | 0,6157 | 0,6180 | 0,6202 | 0,6225 | 0,6248 | 0,6271 | 0,6293 | 51 |
| 39 | 0,6293 | 0,6316 | 0,6338 | 0,6361 | 0,6383 | 0,6406 | 0,6428 | **50** |
| **40** | 0,6428 | 0,6450 | 0,6472 | 0,6494 | 0,6517 | 0,6539 | 0,6561 | 49 |
| 41 | 0,6561 | 0,6583 | 0,6604 | 0,6626 | 0,6648 | 0,6670 | 0,6691 | 48 |
| 42 | 0,6691 | 0,6713 | 0,6734 | 0,6756 | 0,6777 | 0,6799 | 0,6820 | 47 |
| 43 | 0,6820 | 0,6841 | 0,6862 | 0,6884 | 0,6905 | 0,6926 | 0,6947 | 46 |
| 44 | 0,6947 | 0,6967 | 0,6988 | 0,7009 | 0,7030 | 0,7050 | 0,7071 | 45 |
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | min. / grd. |

**cos 45…cos 90°**

## sin 45…sin 90°

| grd. \ min. | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 0,7071 | 0,7092 | 0,7112 | 0,7133 | 0,7153 | 0,7173 | 0,7193 | 44 |
| 46 | 0,7193 | 0,7214 | 0,7234 | 0,7254 | 0,7274 | 0,7294 | 0,7314 | 43 |
| 47 | 0,7314 | 0,7333 | 0,7353 | 0,7373 | 0,7392 | 0,7412 | 0,7431 | 42 |
| 48 | 0,7431 | 0,7451 | 0,7470 | 0,7490 | 0,7509 | 0,7528 | 0,7547 | 41 |
| 49 | 0,7547 | 0,7566 | 0,7585 | 0,7604 | 0,7623 | 0,7642 | 0,7660 | **40** |
| **50** | 0,7660 | 0,7679 | 0,7698 | 0,7716 | 0,7735 | 0,7753 | 0,7771 | 39 |
| 51 | 0,7771 | 0,7790 | 0,7808 | 0,7826 | 0,7844 | 0,7862 | 0,7880 | 38 |
| 52 | 0,7880 | 0,7898 | 0,7916 | 0,7934 | 0,7951 | 0,7969 | 0,7986 | 37 |
| 53 | 0,7986 | 0,8004 | 0,8021 | 0,8039 | 0,8056 | 0,8073 | 0,8090 | 36 |
| 54 | 0,8090 | 0,8107 | 0,8124 | 0,8141 | 0,8158 | 0,8175 | 0,8192 | 35 |
| 55 | 0,8192 | 0,8208 | 0,8225 | 0,8241 | 0,8258 | 0,8274 | 0,8290 | 34 |
| 56 | 0,8290 | 0,8307 | 0,8323 | 0,8339 | 0,8355 | 0,8371 | 0,8387 | 33 |
| 57 | 0,8387 | 0,8403 | 0,8418 | 0,8434 | 0,8450 | 0,8465 | 0,8480 | 32 |
| 58 | 0,8480 | 0,8496 | 0,8511 | 0,8526 | 0,8542 | 0,8557 | 0,8572 | 31 |
| 59 | 0,8572 | 0,8587 | 0,8601 | 0,8616 | 0,8631 | 0,8646 | 0,8660 | **30** |
| **60** | 0,8660 | 0,8675 | 0,8689 | 0,8704 | 0,8718 | 0,8732 | 0,8746 | 29 |
| 61 | 0,8746 | 0,8760 | 0,8774 | 0,8788 | 0,8802 | 0,8816 | 0,8829 | 28 |
| 62 | 0,8829 | 0,8843 | 0,8857 | 0,8870 | 0,8884 | 0,8897 | 0,8910 | 27 |
| 63 | 0,8910 | 0,8923 | 0,8936 | 0,8949 | 0,8962 | 0,8975 | 0,8988 | 26 |
| 64 | 0,8988 | 0,9001 | 0,9013 | 0,9026 | 0,9038 | 0,9051 | 0,9063 | 25 |
| 65 | 0,9063 | 0,9075 | 0,9088 | 0,9100 | 0,9112 | 0,9124 | 0,9135 | 24 |
| 66 | 0,9135 | 0,9147 | 0,9159 | 0,9171 | 0,9182 | 0,9194 | 0,9205 | 23 |
| 67 | 0,9205 | 0,9216 | 0,9228 | 0,9239 | 0,9250 | 0,9261 | 0,9272 | 22 |
| 68 | 0,9272 | 0,9283 | 0,9293 | 0,9304 | 0,9315 | 0,9325 | 0,9336 | 21 |
| 69 | 0,9336 | 0,9346 | 0,9356 | 0,9367 | 0,9377 | 0,9387 | 0,9397 | **20** |
| **70** | 0,9397 | 0,9407 | 0,9417 | 0,9426 | 0,9436 | 0,9446 | 0,9455 | 19 |
| 71 | 0,9455 | 0,9465 | 0,9474 | 0,9483 | 0,9492 | 0,9502 | 0,9511 | 18 |
| 72 | 0,9511 | 0,9520 | 0,9528 | 0,9537 | 0,9546 | 0,9555 | 0,9563 | 17 |
| 73 | 0,9563 | 0,9572 | 0,9580 | 0,9588 | 0,9596 | 0,9605 | 0,9613 | 16 |
| 74 | 0,9613 | 0,9621 | 0,9628 | 0,9636 | 0,9644 | 0,9652 | 0,9659 | 15 |
| 75 | 0,9659 | 0,9667 | 0,9674 | 0,9681 | 0,9689 | 0,9696 | 0,9703 | 14 |
| 76 | 0,9703 | 0,9710 | 0,9717 | 0,9724 | 0,9730 | 0,9737 | 0,9744 | 13 |
| 77 | 0,9744 | 0,9750 | 0,9757 | 0,9763 | 0,9769 | 0,9775 | 0,9781 | 12 |
| 78 | 0,9781 | 0,9787 | 0,9793 | 0,9799 | 0,9805 | 0,9811 | 0,9816 | 11 |
| 79 | 0,9816 | 0,9822 | 0,9827 | 0,9833 | 0,9838 | 0,9843 | 0,9848 | **10** |
| **80** | 0,9848 | 0,9853 | 0,9858 | 0,9863 | 0,9868 | 0,9872 | 0,9877 | 9 |
| 81 | 0,9877 | 0,9881 | 0,9886 | 0,9890 | 0,9894 | 0,9899 | 0,9903 | 8 |
| 82 | 0,9903 | 0,9907 | 0,9911 | 0,9914 | 0,9918 | 0,9922 | 0,9925 | 7 |
| 83 | 0,9925 | 0,9929 | 0,9932 | 0,9936 | 0,9939 | 0,9942 | 0,9945 | 6 |
| 84 | 0,9945 | 0,9948 | 0,9951 | 0,9954 | 0,9957 | 0,9959 | 0,9962 | 5 |
| 85 | 0,9962 | 0,9964 | 0,9967 | 0,9969 | 0,9971 | 0,9974 | 0,9976 | 4 |
| 86 | 0,9976 | 0,9978 | 0,9980 | 0,9981 | 0,9983 | 0,9985 | 0,9986 | 3 |
| 87 | 0,9986 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9990 | 0,9992 | 0,9993 | 0,9994 | 2 |
| 88 | 0,9994 | 0,9995 | 0,9996 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9998 | 0,99985 | 1 |
| 89 | 0,99985 | 0,99989 | 0,99993 | 0,99996 | 0,99998 | 0,99999 | 1,0000 | **0** |
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | min. / grd. |

**cos 0…cos 45°**

